



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

REDISEÑO DE UNA CAJA DE CAMBIOS Y AUTOMATIZACIÓN DE SU LINEA PRODUCTIVA



Memoria

Resum

Aquest TFG consisteix en el redisseny d'una caixa de canvis partint del projecte realitzat durant l'assignatura de AEGM (*Proyecto de D.A.O, Diseño de una caja de cambios FORD*), que consistia a redissenyar, a través de SolidWorks, una caixa de canvis.

El primer apartat se centrarà en adequar els components i determinar-ne els diferents acabats superficials i toleràncies. En aquest procés s'inclouran els eixos primari i secundari, així com els engranatges de les diferents velocitats. No es contemplaran altres components com les carcasses exteriors, les forquilles o la caixa diferencial.

L'objectiu principal del nostre projecte consisteix en el desenvolupament, disseny i automatització, partint des de zero, de la línia productiva dels components de la caixa de canvis prèviament adequats.

El projecte contindrà el codi de control numèric utilitzat per mecanitzar els components en la maquinària de les línies flexibles. Així com el procés productiu d'aquestes i la unió entre les seves diferents operacions. D'altra banda, també establirem els diferents controls de qualitat i finalment es determinaran els costos productius per dur a terme un projecte d'aquesta magnitud.

A més, cal afegir que, es procedirà a imprimir en 3D mitjançant tecnologia FFF (Fused Filament Fabrication) la caixa de canvis completa del projecte original.

Resumen

Este TFG consiste en el rediseño de una caja de cambios partiendo del proyecto realizado durante la asignatura de AEGM (*Proyecto de D.A.O, Diseño de una caja de cambios FORD*), que consistía en rediseñar, a través de SolidWorks, una caja de cambios.

El primer apartado se centrará en adecuar los componentes y determinar sus diferentes acabados superficiales y tolerancias. En este proceso se incluirán los ejes primario y secundario, así como los engranajes de las diferentes marchas. No se contemplarán otros componentes como las carcasas exteriores, las horquillas o la caja diferencial.

El objetivo principal de nuestro proyecto consiste en el desarrollo, diseño y automatización, partiendo desde cero, de la línea productiva de los componentes de la caja de cambios previamente adecuados.

El proyecto contendrá el código de control numérico utilizado para mecanizar los componentes en la maquinaria de las líneas flexibles. Así como el proceso productivo de estas y la unión entre sus diferentes operaciones. Por otro lado, también estableceremos los diferentes controles de calidad y finalmente se determinarán los costes productivos para llevar a cabo un proyecto de esta magnitud.

Además, como añadido, se procederá a imprimir en 3D mediante tecnología FFF (Fused Filament Fabrication) la caja de cambios completa del proyecto original.

Abstract

This TFG consist in the re-design of a gearbox, based on the project made during the subject AEGM (D.A.O. project, design of a FORD transmission), which aim was mainly re-designing a gearbox through SolidWorks.

The first section will be focused on adapting the components and determining different superficial finishes and tolerances. In this process, there will be included the primary and secondary spindles, as well as the gears. Other components won't be contemplated, as for instance the outer casings, the forks or the differential housing.

The main objective of our project consists of the development, the design and the automatization, starting from zero, of the production line of the gearbox components previously adapted.

The project will contain the computer numerical control code used to mechanize the components in the machinery of the flexible cells. As well as the productive process of these and the union between their different operations. On the other hand, we will also establish the various quality controls, and finally the production costs to implement a project on such a scale.

Moreover, we will print in 3D, through FFF (Fused Filament Fabrication) technology, the completed gearbox from the original project.



Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros familiares por todo el apoyo recibido a lo largo de este proyecto, dada la gran cantidad de esfuerzo que ha requerido.

Agradecer por otro lado, a las empresas de Nubotica Academy, Seat Componentes, Voith Turbo, Tresdenou y a Talleres D.M. Davila, que, sin su ayuda este proyecto no habría sido posible. Nos han facilitado la caja de cambios original para desguazar y realizar el primer proyecto, datos de procesos, hemos podido visitar una de las principales fabricas del sector en España. También nos han facilitados los principales materiales utilizados en los procesos de fabricación, nos han permitido la impresión 3D de la maqueta entre muchas otras cosas. En conclusión, ayuda más que necesaria para cumplir todos nuestros objetivos.

También debemos tener en cuenta a nuestros compañeros de la asignatura de Ampliación de Expresión Gráfica (AEGM) puesto que, sin ellos este proyecto tampoco habría sido viable.

Finalmente, y sin olvidarnos de él, agradecer toda la ayuda recibida a nuestro tutor, Dr. J. Antonio Travieso Rodríguez, con el que, sin su ayuda, no habría sido posible tampoco este proyecto.

A todos, muchas gracias.



Glosario

<i>Denominación</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidades</i>
<i>Eje</i>	<i>Término utilizado para designar cualquier medida exterior de una pieza, aunque esta no sea cilíndrica.</i>	
<i>Orificio o agujero</i>	<i>Término utilizado para designar cualquier medida interior de una pieza, aunque esta no sea cilíndrica</i>	
<i>m</i>	<i>Masa</i>	<i>[kg]</i>
<i>C_R</i>	<i>Coste relativo</i>	
<i>ρ</i>	<i>Densidad</i>	<i>[kg/m³]</i>
<i>V</i>	<i>Volumen</i>	<i>[m³]</i>
<i>A</i>	<i>Área</i>	<i>[m²]</i>
<i>L</i>	<i>Longitud</i>	<i>[m]</i>
<i>τ</i>	<i>Momento torsor</i>	<i>[Nm]</i>
<i>θ</i>	<i>Angulo de giro</i>	<i>[Rad]</i>
<i>S_f</i>	<i>Factor de seguridad</i>	
<i>Φ_T^r</i>	<i>Factor de forma de rotura a torsión</i>	
<i>G</i>	<i>Módulo de cizalladura</i>	
<i>E</i>	<i>Módulo de Young</i>	<i>[Pa]</i>
<i>ν</i>	<i>Coeficiente de poisson</i>	
<i>i</i>	<i>Relación de transmisión</i>	
<i>Z</i>	<i>N.º de dientes</i>	
<i>S</i>	<i>Velocidad de corte</i>	<i>[m/min]</i>
<i>a</i>	<i>Avance</i>	<i>[mm/rev]</i>
<i>p</i>	<i>Profundidad</i>	<i>[mm]</i>
<i>R_a</i>	<i>Rugosidad superficial</i>	<i>[μm]</i>



Índice

RESUM	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	6
GLOSARIO	8
1. PROLOGO	14
1.1. Origen del trabajo.....	14
1.2. Motivación.....	14
1.3. Requerimientos previos.....	14
1.4. Objetivos del trabajo	14
1.5. Documentación digital.....	15
2. REDISEÑO DE LA CAJA DE CAMBIOS	16
2.1. Resumen del proyecto inicial	16
2.2. Descripción de la caja de cambios.....	17
2.3. Componentes internos	18
2.4. Funciones principales de los componentes	18
2.5. Estudios realizados	20
2.5.1. Parametrización	20
2.6. Piezas modificadas.....	23
2.6.1. Incompatibilidad durante el diseño productivo	23
2.6.2. Incompatibilidad detectada durante la impresión 3D	24
2.6.3. Simplificación del proceso productivo.....	27
2.7. Tolerancias	29
2.7.1. Rugosidad superficial	30
2.8. Ajustes.....	31
2.9. Selección del material.....	33
3. LÍNEAS PRODUCTIVAS	36
3.1. Proceso productivo.....	37
3.1.1. Preformas.....	37
3.1.2. Determinación del proceso productivo.....	37

3.2.	Herramientas de corte.....	42
3.2.1.	Características.....	43
3.2.2.	Vida útil.....	43
3.3.	Simulación CAM	44
3.3.1.	Herramientas de software utilizadas	44
3.3.2.	Procesos simulados	45
3.3.3.	Tiempos del proceso productivo.....	46
3.4.	Diseño de las líneas productivas.....	48
3.4.1.	Planteamiento inicial.....	48
3.4.2.	Planteamiento optimizado.....	51
3.5.	Automatización de las líneas productivas optimizadas	53
3.5.1.	Distribuciones automatizadas	53
3.5.2.	GRAFCETS	56
3.5.3.	Programa de control.....	57
3.5.4.	Diseño en SolidWorks de la línea productiva de los ejes.....	59
4.	CALIDAD	62
4.1.	Control de calidad	62
5.	IMPRESIÓN 3D	64
5.1.	Objetivo	64
5.2.	Impresión 3D	64
5.3.	Aspectos considerados	64
5.4.	Proceso completo de impresión.....	69
	CONCLUSIONES	78
	PRESUPUESTO	80
	BIBLIOGRAFÍA	82
	AUTORÍA DEL PROYECTO FINAL DE GRADO	84
	ANEXO 0	88
	ANEXO A	90
A1.	Imágenes reales de la caja de cambios	91
A2.	Comparativa de las piezas CAD con las reales.....	93
A3.	Ensamblaje y subensamblaje.....	125
A4.	Vistas explosionadas	129

A5.	Estudios realizados en el trabajo original.....	140
A6.	Tolerancias.....	151
A7.	Ajustes.....	154
A8.	Selección del material.....	156
A9.	Planos de las piezas trabajadas en el proyecto.....	160
ANEXO B		168
B1.	Preformas.....	169
B2.	Procesos productivos.....	172
B3.	Herramientas de corte y hojas de ruta tecnológicas	176
B4.	Simulación CAM.....	206
B5.	Diseño de las líneas productivas	208
B6.	Automatización de las líneas productivas optimizadas	222
ANEXO C		272
C1	Plantilla control de calidad	273
C2	Controles de calidad según proceso	276
ANEXO D		364
D1.	Aspectos considerados.....	365
D2.	Edición en SolidWorks	366
D3.	Edición en Meshmixer	382
D4.	Cura BCN3D – Conversión a G-code.....	410
D5.	Impresión de las piezas.....	424
D6.	Ensamblaje de la maqueta	434
ANEXO E		440
E1.	Desglose de los costes de material por distribución.....	441
E2.	Presupuesto completo	446



1. Prologo

1.1. Origen del trabajo

El origen de este proyecto de final de carrera reside principalmente en el proyecto realizado por cuatro estudiantes para la asignatura de Ampliación de expresión gráfica (*Proyecto de D.A.O, Diseño de una caja de cambios FORD*) en la especialidad de ingeniería mecánica.

Este proyecto consistió, en la realización de la reproducción de una caja de cambios mediante el programa de diseño asistido por ordenador SolidWorks.

El proyecto se basaba en la caja real de cinco velocidades y cambio manual procedente del vehículo Ford Focus fabricado durante los años 2008 y 2010.

1.2. Motivación

Nuestra principal motivación para realizar este proyecto es que, para la elaboración del mismo es necesario tratar aspectos de selección de materiales, fabricación, organización de la producción o control industrial y automatización. Esto, junto con poder investigar y profundizar en diferentes ámbitos, han supuesto el principal motivo que nos ha llevado a la realización de este proyecto.

1.3. Requerimientos previos

Para la realización de este proyecto se establecen tres requerimientos previos:

- El proyecto original de Ampliación de expresión gráfica.
- Las características del vehículo (véase la Tabla 0. 1 del Anexo 0)
- Configuración obsoleta del proceso productivo (véase la Tabla 0. 2 del Anexo 0)

1.4. Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este proyecto final de carrera es establecer el proceso óptimo de fabricación para una fábrica a partir del proceso planteado en los requerimientos previos. Esto se realiza gracias a la automatización de sus líneas de producción y así poder aumentar la producción.

El proyecto se centra en el estudio inicial a realizar para justificar la viabilidad de la automatización de la fábrica. Para ello, se determina desde cero el proceso productivo de los diferentes componentes y el diseño de las líneas productivas necesarias para la obtención de las piezas que componen la caja de cambios.

Asimismo, otros objetivos de este proyecto son profundizar en la impresión 3D, en el estudio de materiales y en la creación del código de control numérico.

1.5. Documentación digital

Digitalmente se incluye la siguiente documentación:

- Memoria y anexos del trabajo
- Piezas y ensamblaje de la caja de cambios
- Planos trabajados en el proyecto
- Piezas modificadas
- Cartas de selección de materiales
- Hojas de ruta de las diferentes piezas
- Catálogos de herramientas
- Preformas de las piezas
- Simulación CAM
 - Videos
 - Archivos Edgecam
 - Códigos CNC
- Esquemas de las líneas productivas
- Caminos críticos
- Fichas de calidad
- GRAFCETS
- Diseño en SolidWorks de la línea productiva de los ejes
- Configuraciones de impresión 3D
- Piezas impresas en 3D

2. Rediseño de la caja de cambios

2.1. Resumen del proyecto inicial

En la realización del proyecto inicial se reprodujeron las piezas con la máxima exactitud posible con los medios existentes (véase Anexo A1 y A2).

Durante el diseño en CAD se han llevado a cabo simplificaciones en la reproducción y rediseño de diversas piezas.

Principalmente se han simplificado las dos carcasas exteriores las cuales se diseñó un concepto básico, puesto que, el principal objetivo del proyecto consistía en el comportamiento y reproducción de las piezas internas y no en la sujeción, que es la principal función de la carcasa.

No obstante, se realizaron geométricas complejas (carcasas de aluminio de la palanca de cambio) y se reprodujeron lo más fielmente posible.

Durante el proyecto se planteó adaptar los engranajes y rodamientos de los que disponía la caja de cambios a través de la herramienta de TOOLBOX de SolidWorks o en caso de no existir cogerlas de las diferentes webs de diseño que existen. Pero, todas las piezas que se seleccionaron a través de estos aplicativos no se adaptaban a nuestras piezas ya que no podíamos editarlas o adaptarlas conllevaba más tiempo que crearlas desde cero. Finalmente se decidió reproducir todas las piezas del proyecto desde cero.

Durante la reproducción, el error de medida con el real es de aproximadamente de 3mm.

Por otro lado, y entrando en la reproducción de las piezas, se observa que en una serie de componentes, cabe la posibilidad de parametrizar en SolidWorks por su similitud.

Los componentes incluidos en la parametrización son:

- Engranajes.
- Conos de engranajes
- Aros sincronizadores
- Rodamientos

En la parte del ensamblaje se opta por realizar el ensamblaje en subensamblajes más pequeños para no sobrecargar el ensamblaje final y para luego finalmente unirlos.

Finalmente se realizarán los estudios de:

- Inyección de plástico
- Parametrizado
- Chapa metálica
- Imagen sintética
- Estudio de movimiento
- Tolerancias, rugosidad y ajustes
- Poster

Exceptuando el parametrizado, tolerancias, rugosidades y ajustes, los estudios están adjuntos en el Anexo A.

2.2. Descripción de la caja de cambios

La caja de cambios utilizada para el proyecto es una FORD de cinco velocidades manual, compuesta por 2 ejes, primario y secundario, en los que se distribuye los diferentes conjuntos de engranajes.

La caja de cambios es un sistema de transmisión con el que el eje de entrada o primario transmite el movimiento rotativo del motor a los piñones del eje de salida. En la condición neutral los conjuntos de sincronización no están conectados y el eje de salida se mantiene estacionario sin que haya transmisión de par y movimiento. Desconectando el embrague la transmisión de movimiento al eje de entrada es interrumpida lo que permite conectar por medio de los conjuntos sincronizador (desplazable, buje, anillo sincronizador y cono) engranar el piñón de marcha deseada. Conectando de nuevo el embrague, el movimiento y par transmitido al eje primario se transmite al eje de salida con la correspondiente relación de transmisión del conjunto de engranajes.

Para determinar la cantidad de par y movimiento que se transmite con las diferentes marchas se calcula las relaciones de transmisión a través de la ecuación Ec. 2.1.

$$i = \frac{z_1}{z_2} \quad \text{Ec. 2.1}$$

En la siguiente tabla se muestran las diferentes relaciones de transmisión obtenidas:

Tabla 2.1 Relaciones de transmisión de la caja de cambios

Engranaje	Z (nº dientes)	i (rel. transmisión)
1ª cono	44	0,27
1ª eje primario	12	
2ª cono	43	0,49
2ª eje primario	21	
3ª cono	31	0,79
3 eje secundario	39	
4ª cono	37	1,16
4ª eje secundario	32	
5ª cono	29	1,48
5ª plana	43	
Engr. secundario	16	0,28
Corona	57	

2.3. Componentes internos

La caja de cambios está constituida por los siguientes componentes:

- Bujes, desplazables y horquillas
- Cono
- Caja diferencial/corona
- Engranajes
- Sincronizadores
- Ejes
- Exterior
- Palanca
- Rodamientos

2.4. Funciones principales de los componentes

Las principales funciones de los grupos que componen una caja de cambios son:

- **Bujes, desplazables y horquillas**
Estos componentes tienen la función de engranar una marcha u otra desplazando los desplazables correspondientes mediante las horquillas.

- **Cono**
Se le llama cono a pieza cónica con un despuntado que algunos engranajes llevan soldados a ellos con los que se frena el piñón y hace posible junto con los desplazables engranar.
- **Caja diferencial/corona**
Tiene la función de llevar el movimiento a las ruedas del vehículo y si, este toma una curva, compensar el movimiento rotativo de las ruedas respecto a la calzada.
- **Engranajes**
Su función es la de trasladar el movimiento modificando la velocidad de salida en función de la relación de transmisión de cada marcha.
- **Sincronizadores**
Su utilidad reside en frenar los engranajes y así poder sincronizar el dentado de los desplazables con los conos respectivos.
- **Ejes**
Su objetivo es el de albergar los diferentes engranajes y transmitir el movimiento. El primario recibe el movimiento del motor y el secundario lo traslada a la caja diferencial/corona (salida).
- **Palanca**
Dividida en dos partes, externa, recubierta de una carcasa de aluminio esconde los mandos principales que hacen posible la selección de marcha. La parte interna está conectada con las horquillas y es transmite el movimiento para así mover la horquilla correspondiente.
- **Rodamientos**
Elementos cuya función es el de minimizar el rozamiento de aquellas piezas móviles y engranajes que giran libres.

En la Tabla 2.2 adjunta se indican los módulos y pasos primitivos para los diferentes engranajes trabajados.

Tabla 2.2 Módulos y pasos primitivos normalizados

MODULOS Y PASO PRIMITIVO NORMALIZADOS		
Engranaje	Modulo N	Pp _n
1ª cono	2,75	8,639
2ª cono	2,5	7,854
3ª cono	2,5	7,854
4ª cono	2,5	7,854
5ª cono	2,25	7,069
5ª plana	2,25	7,854
MA cono	2,5	7,854
MA plana	2,5	7,854
Engr. secundario	3,75	11,78
Eje primario	2,75	8,639
	2,5	7,854
Eje secundario	2,5	7,854

2.5. Estudios realizados

A lo largo del proyecto inicial se realizaron los estudios de inyección de plástico, parametrización e imagen sintética.

En este apartado se detallará el estudio de parametrización a través de SolidWorks (el resto de estudios se pueden ver en el Anexo A).

2.5.1. Parametrización

Para facilitar la reproducción de las piezas similares s, hemos parametrizado las siguientes piezas:

- Engranajes
- Cono de engranaje.
- Aros sincronizadores.
- Rodamientos.

Engranajes

El parametrizado de los engranajes se divide en función de la dirección del dentado, engranajes a derechas y engranajes a izquierdas (Tabla A5. 1).

Del estudio de parametrización quedan excluidos el engranaje secundario y la corona ya que las cotas de estos componentes son muy diferentes y no es viable su parametrizado.

Para realizar los cálculos hemos aplicado el siguiente procedimiento y teniendo en cuenta un ángulo de presión de 20°:

1. Recogida de medidas (Tabla A5. 3 y Tabla A5. 6):
 - a. L2 (distancia cordal entre los perfiles de dos dientes).
 - b. L3 (distancia cordal entre los perfiles de tres dientes).
 - c. Diámetro exterior
 - d. Espesor del engranaje
 - e. Diámetro interior
 - f. N.º de dientes
 - g. Cilindro interior abajo
 - h. Diferencias de alturas
 - i. Diámetro exterior cilindro
 - j. Espesor total
2. Calculamos las siguientes características (Tabla A5. 4 y Tabla A5. 7):
 - a. Paso base

$$Pb = \frac{L_3}{L_2} \quad \text{Ec. 2.2}$$

- b. Paso primitivo

$$Pp = \frac{Pb}{\cos(20)} \quad \text{Ec. 2.3}$$

- c. Modulo

$$m = \frac{Pp}{\pi} \quad \text{Ec. 2.4}$$

3. Normalizamos tanto el módulo como el paso primitivo (Tabla A5. 2, Tabla A5. 4 y Tabla A5. 7).
4. Teniendo los módulos y los pasos normalizados (m_n y Pp_n) Calculamos los siguientes datos (Tabla A5. 5 y Tabla A5. 8):

- a. Diámetro primitivo

$$D_p = 2 \cdot m_n + D_{ext} \quad \text{Ec. 2.5}$$

- b. Diámetro de fondo

$$D_f = D_p - 2,5 \cdot m_n \quad \text{Ec. 2.6}$$

- c. Cuarto de paso

$$C_{paso} = \frac{Pp_n}{4} \quad \text{Ec. 2.70}$$

- d. Paso primitivo normalizado medio

$$Pp_n^m = \frac{Pp_n}{2} \quad \text{Ec. 2.8}$$

- e. Cilindro interior arriba

$$C_{in\ arriba} = \text{Espesor total} - \text{Dif. altura} \quad \text{Ec. 2.9}$$

5. Todos los cálculos recogidos y calculados se introducen en las tablas de SolidWorks (Tabla A5. 5).

Cono de engranaje

Para realizar la parametrización de los conos únicamente hemos requerido realizar una recogida de las medidas características de los diferentes conos e introducir la tabla en el SolidWorks. En el Anexo A se encuentra la tabla con todos los datos recogidos (Tabla A5. 9).

Aros sincronizadores

En el caso de aros sincronizadores únicamente se parametriza el aro 2 y el aro 3 para los engranajes 1ª cono, 2ª cono y 3ª cono siguiendo el mismo procedimiento utilizado en los conos de engranajes, tomando los datos característicos.

De la misma forma, en el Anexo A se encuentran las tablas con los resultados obtenidos para el parametrizado del aro 2 y 3 (Tabla A5. 10 y Tabla A5. 11).

Rodamientos

Para el parametrizado de los rodamientos se ha seguido el mismo principio que en los dos casos anteriores, determinar las características de los rodamientos (Tabla A5. 12).

2.6. Piezas modificadas

En este apartado se va a tratar el conjunto de piezas la cuales han tenido que ser modificadas a causa de una incompatibilidad detectada durante el diseño de los pasos productivos, una vez realizada la impresión o por simplificación del proceso de fabricación.

Las piezas modificadas han sido:

- Eje primario
- Eje secundario
- Engranaje de 5ª plana
- Engranaje secundario

2.6.1. Incompatibilidad durante el diseño productivo

Durante el diseño de los pasos productivos se apreció que el dentado de la marcha atrás del eje primario presentaba una incompatibilidad de fabricación puesto que, no existía ángulo de salida para la herramienta.



Imagen 2.1 Eje primario sin modificación

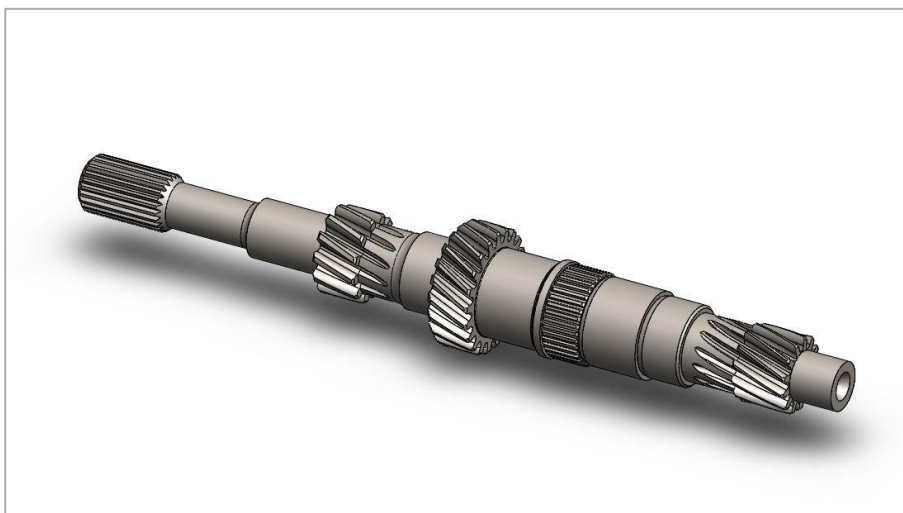


Imagen 2.2 Eje primario modificado

Como se puede apreciar en la Imagen 2.1e Imagen 2.2 se ha eliminado parte del dentado de la marcha atrás para así poder crear el ángulo de salida necesario para poder mecanizar en dentado.

En la Imagen 2.3 que se muestra a continuación, se observa de forma más detallada el problema presentado y la modificación realizada como solución.

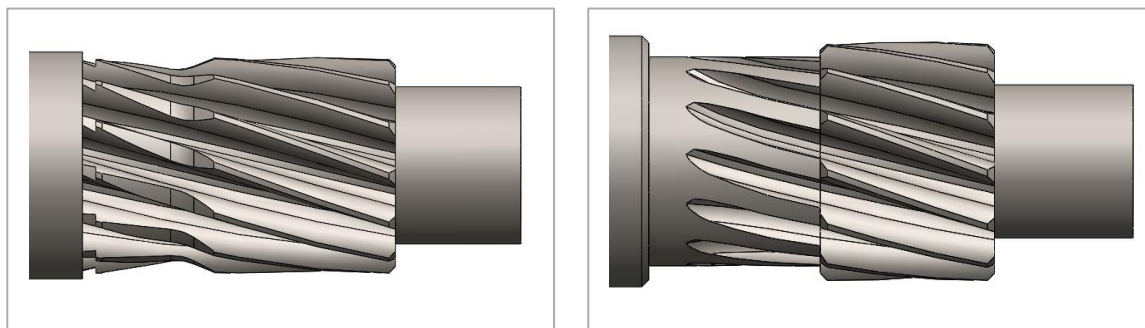


Imagen 2.3 Detalle de la modificación del dentado de marcha atrás sobre el eje primario

2.6.2. Incompatibilidad detectada durante la impresión 3D

Los componentes que se tratarán en este apartado han sido detectados una vez impresos y en los que se observó la imposibilidad de montarse en la caja de cambios final puesto que el dentado no coincidía con la pareja.

Las piezas afectadas por este defecto son la 5ª plana y el engranaje secundario.

5ª plana

Para determinar la verdadera problemática del engranaje de 5ª plana se detectó comparándola con la pareja donde se determinó que el ángulo de inclinación del diente no es el mismo.

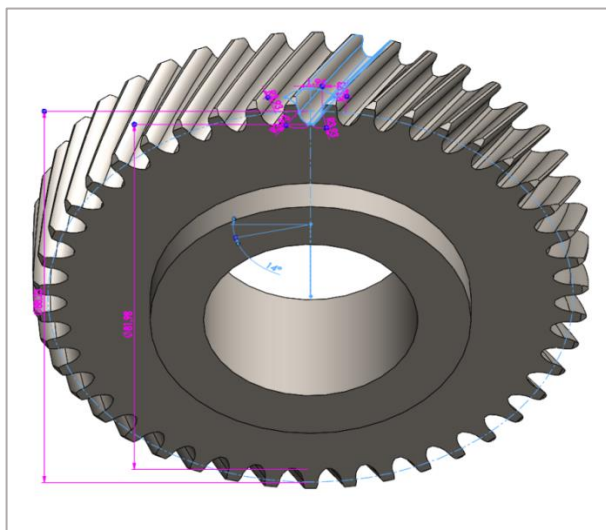


Imagen 2.4 Engranaje de 5ª plana con las cotas presentes

Para corregir la desviación se modifica el ángulo de inclinación que en el caso de la pieza original de 20º y a 14º en la pieza modificada para asegurar una correcta relación de transmisión (Imagen 2.5).

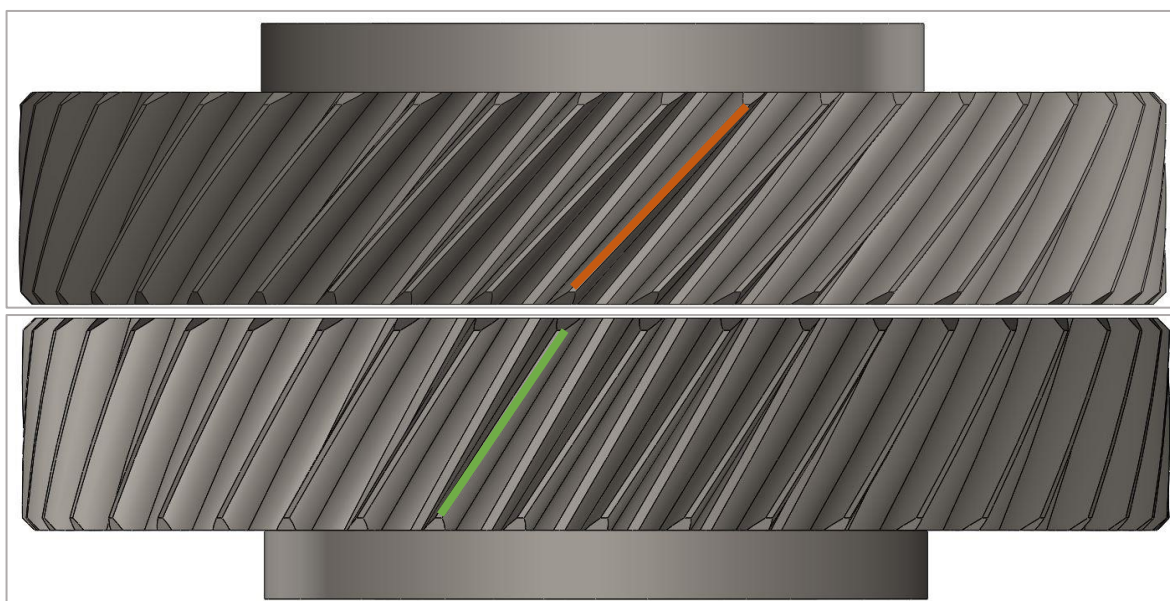


Imagen 2.5 Diferencia de inclinación del dentado. Imagen superior original e imagen inferior dentado modificado

Engranaje secundario

De la misma forma que en el caso anterior, en el engranaje secundario se detectó que una vez impresa la pieza no engranaba correctamente con la corona.

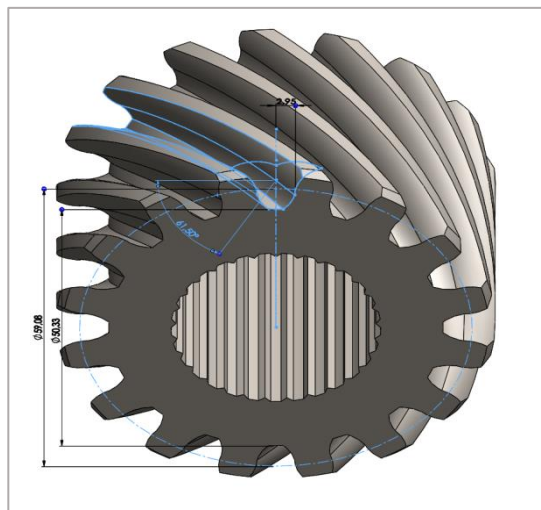


Imagen 2.6 Engranaje secundario con las cotas presentes

Después de revisar los dentados de ambas piezas se determina modificar la inclinación del dentado del engranaje secundario donde el ángulo de inclinación pasa de $48,5^\circ$ a $61,5^\circ$ y permitir de la misma manera la correcta relación de transmisión (Imagen 2.7).

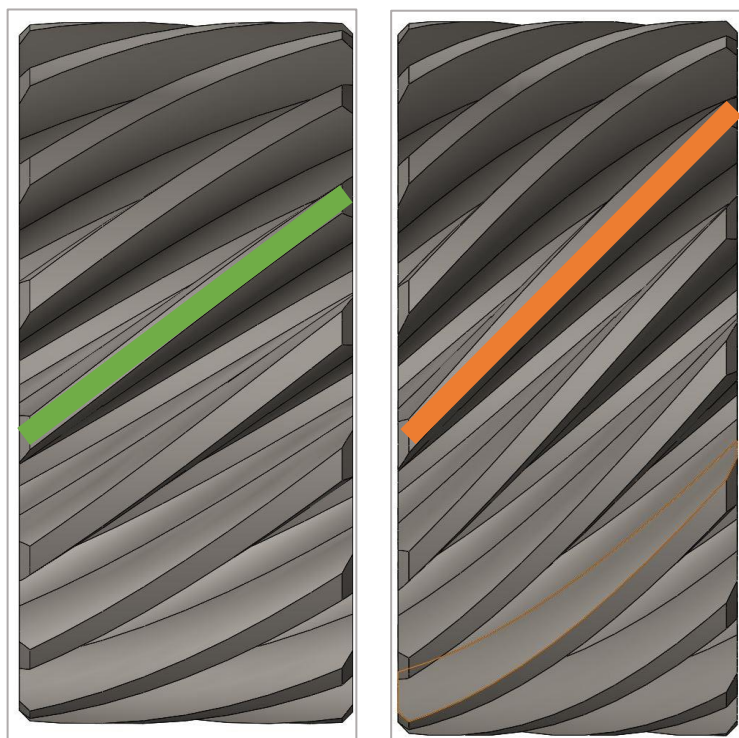


Imagen 2.7 Diferencia de inclinación del dentado del engranaje secundario

2.6.3. Simplificación del proceso productivo

Finalmente se determina modificar los ejes de la caja de cambios para así simplificar el proceso productivo de los dos ejes eliminando así operaciones y tiempo.

Para ello, se han eliminado los alojamientos para los circlips (anillos de seguridad) que evitan el movimiento del buje.

Para compensar la ausencia de circlip, se modifica el ajuste del laminado hasta obtener un ajuste por montaje con prensa o dilatación y así evitar su movimiento.

Los puntos de los ejes afectados son:

- Eje primario
 - Laminado del buje 3ª – 4ª velocidad

- Eje secundario
 - Laminado buje 1ª – 2ª velocidad
 - Laminado del buje 5ª – Marcha atrás

Eje primario

Como se puede apreciar en la Imagen 2.1 e Imagen 2.2 anteriores, se ha eliminado el ranurado del laminado del buje.

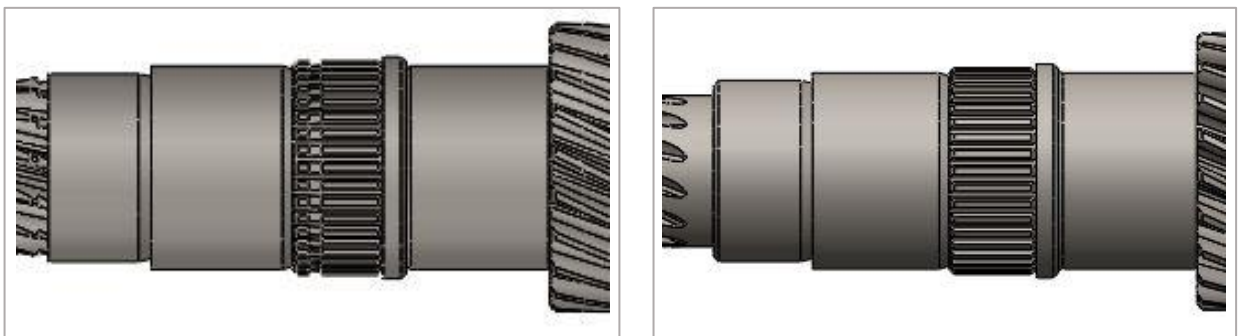


Imagen 2.8 Eliminación del ranurado en el buje de 3ª – 4ª velocidad

Eje secundario

Como se ha indicado anteriormente, en el caso del eje secundario, se modifica dos laminados. En la Imagen 2.9 e Imagen 2.10 se muestra una imagen general de la pieza original y la modificada; en la Imagen 2.11 se pueden ver los detalles de forma más precisa las modificaciones efectuadas.

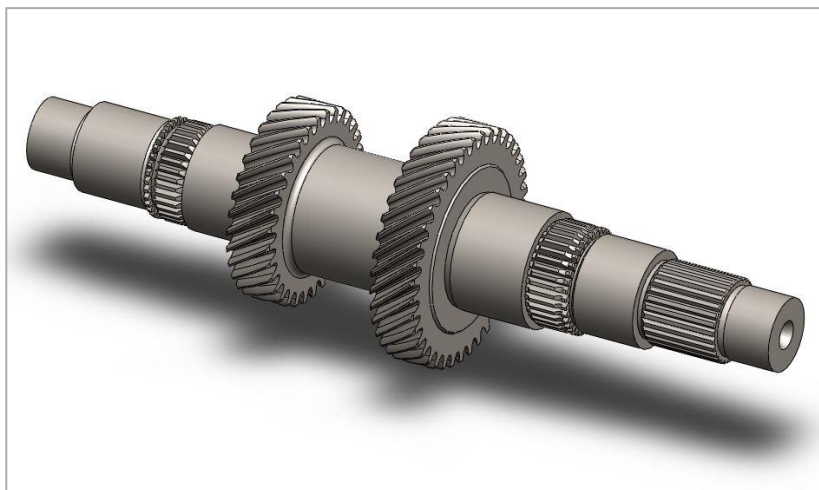


Imagen 2.9 Eje secundario sin modificación

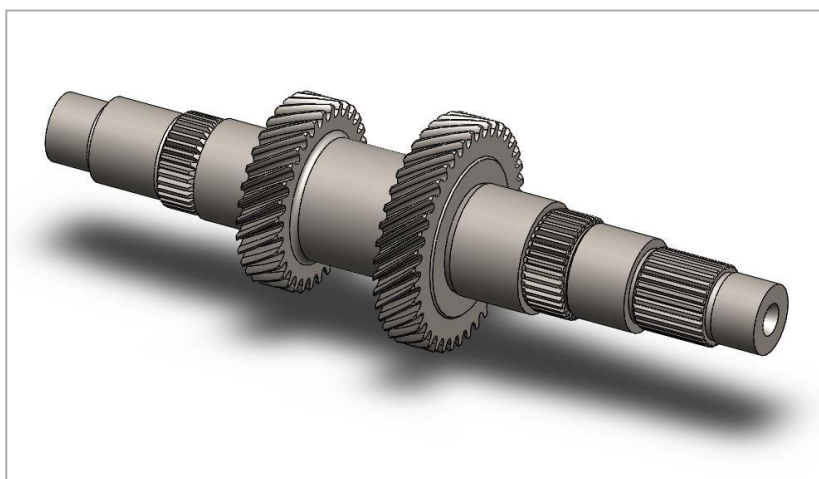


Imagen 2.10 Eje primario modificado

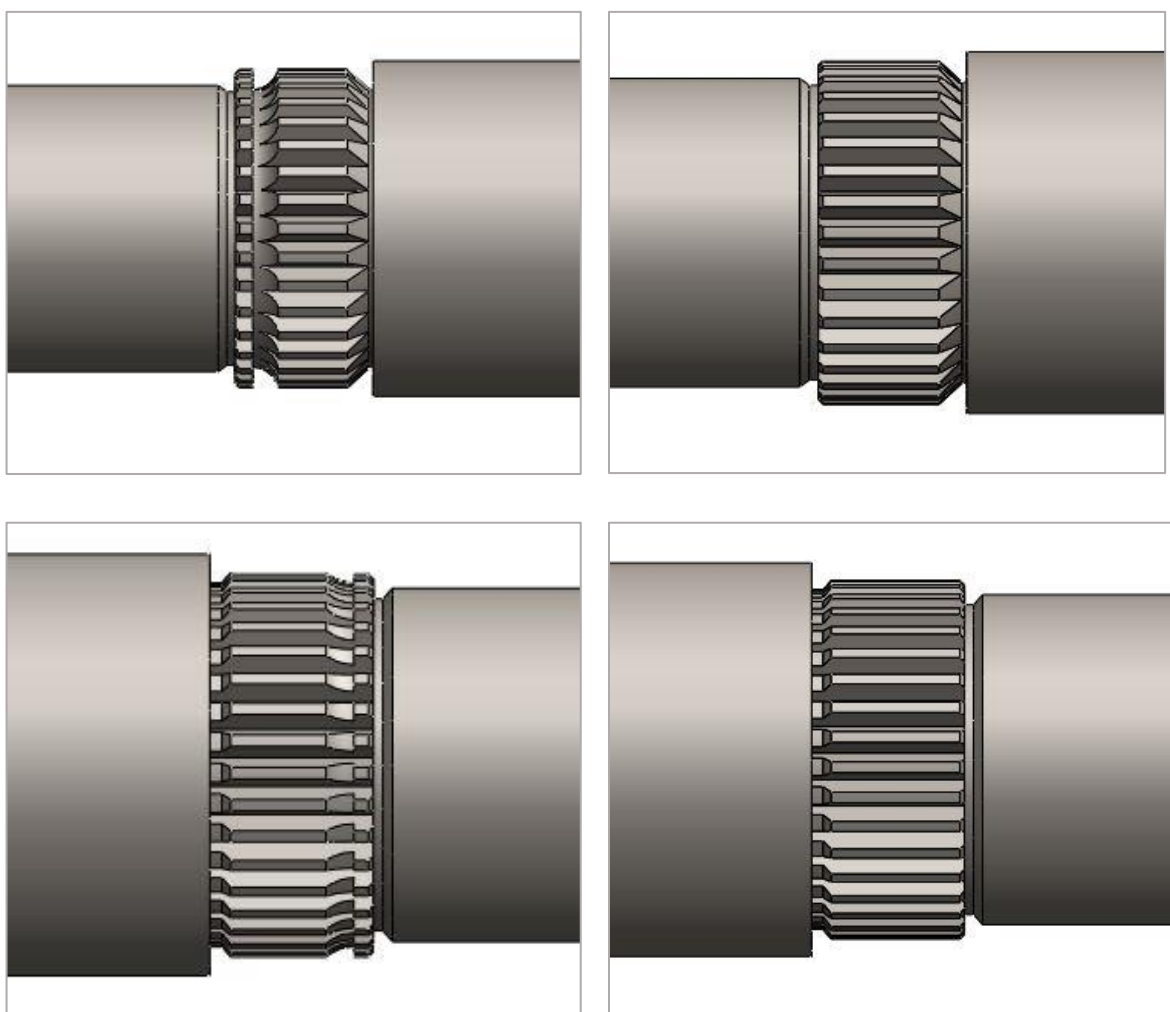


Imagen 2.11 Eliminación del ranurado en el buje de 1ª – 2ª vel. (Imágenes superiores) y 5ª – M.A. (imágenes inferiores)

2.7. Tolerancias

Ya que fabricar una pieza de dimensiones exactas es imposible. Se deben determinar unas tolerancias dimensionales aceptables para la fabricación.

Determinar estas tolerancias significa que el error máximo admisible tanto por la cota superior como la inferior no debe impedir el uso del conjunto.

Determinar unas tolerancias geométricas no siempre es suficiente, por ello para dejar una pieza totalmente definida, desde el punto de vista de la fabricación, debemos definir tres familias de magnitudes:

- Propiedades del material.
- Propiedades geométricas.

- Propiedades superficiales.

En este apartado se definen las siguientes tolerancias geométricas.

- Para geometrías no relevantes se determina una tolerancia de $\pm 0.5\text{mm}$
- Para geometrías relevantes se aplica una tolerancia de $\pm 0.02\text{mm}$
- Definiremos unas tolerancias de forma que tendrán un valor igual al anterior descrito en función de su importancia.

En la Tabla A6. 1 del Anexo A se muestran los símbolos de las tolerancias de forma para su indicación según la norma UNE-EN ISO 1101:2006.

2.7.1. Rugosidad superficial

En este apartado se determina el acabado superficial o rugosidad superficial (R_a).

La rugosidad superficial se puede definir como las irregularidades existentes sobre la superficie de una pieza que ha sido transformada por cualquier proceso de fabricación.

Para decidir el acabado superficial que se aplica en cada sección de los componentes, la Tabla A6. 2 y Tabla A6. 3 nos determina la rugosidad en función del proceso de fabricación y su acabado.

En la Tabla 2.3 que se muestra a continuación, se determina la rugosidad para las diferentes secciones de los componentes trabajados y la obtención del intervalo de R_a .

Tabla 2.3 Determinación del IT y la rugosidad superficial (R_a)

ACABADO SUPERFICIAL POR SECCIONES				
PIEZA	OPERACIÓN FINAL	PROCESO FINAL	IT	RUGOSIDAD R_a [μm]
Dentado	Rectificado	Acabado	IT 5	[0,16 - 0,25]
Laminado / brochado	Brochado	Fino	IT 5	[0,4 - 0,6]
Cilindrado interior	Torneado	Semi acabado	IT 8	[1,6 - 2,5]
Cilindrado ejes	Torneado	Semi acabado	IT 8	[1,6 - 2,5]
Ranurado	Torneado	Semi Acabado	IT 8	[1,6 - 2,5]
Bujes y desplazables	Pulvimetalurgia	-	IT 8	[1,6 - 2,5]

A partir de esta selección anterior, se determina a partir de la Tabla 2.4 la clase de rugosidad correspondiente.

Tabla 2.4 Determinación de la clase de rugosidad en función de la rugosidad superficial (R_a)

CLASE DE RUGOSIDAD POR SECCIONES			
PIEZA	RUGOSIDAD R_a [μm]	VALOR CONVENCIONAL R_a [μm]	CLASE DE RUGOSIDAD
Dentado	[0,16 - 0,25]	0,25	N4
Laminado / brochado	[0,4 - 0,6]	0,6	N6
Cilindrado interior	[1,6 - 2,5]	1,8	N7
Cilindrado ejes	[1,6 - 2,5]	1,8	N7
Ranurado	[1,6 - 2,5]	1,8	N7
Bujes y desplazables	[1,6 - 2,5]	1,8	N7

Finalmente, en la Tabla A6. 5 anexada en el Anexo A, se determina la simbología utilizada en los planos de las piezas trabajadas.

2.8. Ajustes

El ajuste mecánico es la relación mecánica existente entre dos piezas que pertenecen a una máquina o equipo, cuando una de ellas encaja o se acopla en la otra. Este ajuste mecánico se realiza entre un eje y un orificio o agujero. En el caso de que una de las piezas tenga una medida nominal por encima de esa tolerancia, ambas piezas sencillamente no ajustarán y será imposible su montaje.

La elección de este ajuste mecánico se determina en base al grado de precisión requerida para el montaje de la pieza en un conjunto mecánico.

Para poder definir los componentes estudiados en nuestro proyecto es necesario definir las tolerancias de ajuste entre ellos. Las cuales se determinan en este apartado.

La tolerancia de ajuste se puede definir desde dos vistas, vista del agujero o vista desde el eje. Tal y como se observa en la Tabla A7. 1 y en la Imagen A7. 1 las tolerancias de ajuste mecánico pueden ser:

- **Ajuste móvil:** Siempre existe juego entre el eje y el agujero aun cuando el eje tenga la cota máxima y el agujero presente la mínima.
- **Ajuste indeterminado:** Será el que resulte dependiendo de las dimensiones del eje y las del agujero, dentro de sus respectivas tolerancias, y que darán lugar a un ajuste o aun apriete.

- **Ajuste fijo o con apriete:** Cuando haya un apriete, aunque el eje tenga la cota mínima y el agujero tenga la máxima.

En la Tabla 2.5 siguiente se define el tipo de ajuste en función del puesto de los componentes y la relación entre ellos.

Tabla 2.5 Determinación del tipo de ajuste en función de la relación de piezas

TIPO DE AJUSTE MECANICO EN FUNCIÓN DE LAS PIEZAS					
EJE SECUNDARIO			EJE PRIMARIO		
PIEZA CON AGUJERO	PIEZA EJE	TIPO DE AJUSTE	PIEZA CON AGUJERO	PIEZA EJE	TIPO DE AJUSTE
Rodamientos exteriores	Eje secundario	Ajuste con apriete	Rodamientos exteriores	Eje primario	Ajuste con apriete
Engr. secundario	Eje secundario	Ajuste con apriete	5ª plana	Eje primario	Ajuste con apriete
Engr. de marcha atrás cono	Rodamiento de agujas	Ajuste con juego	3ª cono	Rodamiento de agujas	Ajuste con juego
1ª cono	Rodamiento de agujas	Ajuste con juego	4ª cono	Rodamiento de agujas	Ajuste con juego
2ª cono	Rodamiento de agujas	Ajuste con juego	Rodamiento de agujas	Eje primario	Ajuste con juego
5ª cono	Rodamiento de agujas	Ajuste con juego	Buje	Eje primario	Ajuste con apriete
Rodamiento de agujas	Eje secundario	Ajuste con juego	Desplazable	Buje	Ajuste con juego
Buje	Eje secundario	Ajuste con apriete			
Desplazable	Buje	Ajuste con juego			

Determinado el tipo de ajuste básico del conjunto de piezas y siguiendo la Tabla A7. 2 se detalla de forma más exacta el ajuste de cada pieza desde la vista del eje (eje base).

En la Tabla 2.6 se detalla el resumen y el ajuste de cada conjunto en función del tipo de ajuste determinado (ajuste móvil o ajuste con apriete)

Como se determinó en el apartado 2.6.3 Simplificación del proceso productivo se determina un ajuste con apriete y montaje con prensa o dilatación para todas aquellas secciones de los ejes que deben quedar fijas (engranaje secundario, bujes o rodamientos exteriores).

Tabla 2.6 Resumen de los ajustes en función del conjunto

TIPO DE AJUSTE MECANICO EN FUNCIÓN DE LAS PIEZAS			
PIEZA CON AGUJERO	AJUSTE FINAL	PIEZA EJE	AJUSTE FINAL
Rodamientos exteriores	X7	Eje secundario	h7
Engranaje secundario	X7	Eje secundario	h7
Engr. de marcha atrás cono	E8	Rodamiento de agujas	h7
1ª cono	E8	Rodamiento de agujas	h7
2ª cono	E8	Rodamiento de agujas	h7
5ª cono	E8	Rodamiento de agujas	h7
Rodamiento de agujas	E8	Eje secundario	h7
Buje	X7	Eje secundario	h7
Desplazable	E8	Buje	h7
Rodamientos exteriores	X7	Eje primario	h7
5ª plana	X7	Eje primario	h7
3ª cono	E8	Rodamiento de agujas	h7
4ª cono	E8	Rodamiento de agujas	h7
Rodamiento de agujas	E8	Eje primario	h7
Buje	X7	Eje primario	h7
Desplazable	E8	Buje	h7
Marcha atrás plana	E8	Ubicación carcasa	h7

2.9. Selección del material

Para nuestro proyecto se ha escogido como material, una de las aleaciones de acero mayormente utilizadas en mecanismos de esta índole. Además, se ha realizado un estudio de selección de materiales para corroborarlo, el cual se encuentra detallado en el Anexo A9.

Para este estudio se han considerado los cuatro mejores materiales dentro de la familia de los metales según los criterios de mínima densidad y mínimo coste relativo.

A continuación, se resume en las Tabla 2. 7 y Tabla 2. 8 los resultados de dicho estudio, ordenados de más a menos óptimo.

Tabla 2.7 Resultados de la correlación entre módulo de Young y densidad

Materiales aceptables entre módulo de Young y densidad
Aleaciones de MG
Aleaciones de Ti
Aceros
Aleaciones de Zn

Tabla 2.8 Resultados de la correlación entre módulo de Young y coste relativo por unidad de volumen

Materiales aceptables entre módulo de Young y coste relativo por unidad de volumen
Hierro colado
Aceros
Aleaciones de Al
Aleaciones de Zn

Así pues, los materiales que cumplen nuestros dos criterios simultáneamente serían los aceros.

Gracias a la información que se ha obtenido a través de la empresa Voith, una multinacional del sector, se establece como material a utilizar, la aleación de acero 18CrNiMo7-6 (1.6587). En la

Tabla A8. 1 se detalla la composición química de dicho material.

En la Tabla 2.9 se recogen las características necesarias del material para la simulación del proceso productivo.

Tabla 2.9 Características del acero 18CrNiMo7-6 (1.6587) relativos al software de CAM

Características del acero 18CrNiMo7-6		
Parámetro	Valor	Unidades
Densidad	7,85	g/cm ³ o Mg/m ³
Tensión de tracción	1200	N/mm ² o MPa

3. Líneas productivas

Podemos definir el proceso productivo como, la secuencia de actividades requeridas para la elaboración de bienes, para así, satisfacer las necesidades del ser humano. Para ello, se transforma o modifica la materia y energía para así obtener, bienes o servicios. Además, de forma inevitable, la producción de residuos.

En este apartado se pretende determinar todo el proceso productivo para la obtención del producto final partiendo de una pieza en bruto (preforma). Para ello, se determinará el proceso productivo y el diseño de las líneas flexibles para elaborarlo.

Tal y como se indica en los objetivos del trabajo, el proyecto se plantea partiendo de una base cero y así, se debe detallar el proceso productivo de las piezas recogidas en la Tabla 3. 1.

Tabla 3. 1 Conjunto de piezas de la caja de cambios trabajas a lo largo del proyecto

PIEZAS TRABAJAS EN EL PROYECTO
Eje primario
Eje secundario
1ª cono
2ª cono
3ª cono
4ª cono
5ª cono
5ª plana
Marcha atrás cono
Marcha atrás plana
Engranaje secundario
Desplazable 1ª – 2ª
Desplazable 3ª – 4ª
Desplazable 5ª – M.A.

Aun así, cabe destacar que, los conjuntos de sincronización (cono, dentado de sincronización y aros de sincronización) y los bujes, no se incluyen en el proyecto por estar realizados a través de un proceso de compactación en polvo (pulvimetalurgia) o por su complejidad.

También comentar que, respecto a los desplazables, se prevén su fabricación mediante un proceso de pulvimetalurgia y únicamente se realiza el mecanizado del ranurado donde se ubican las horquillas. El objetivo de este proceso reside en facilitar el desmoldado del semiproducto en bruto al finalizar el proceso de compactación en polvo.

3.1. Proceso productivo

3.1.1. Preformas

Se consideran como preformas o semiproductos, a las piezas en bruto previas a ser sometidas a los procesos de mecanizado. Estas piezas se han obtenido a partir de fundición o compactación en polvo (pulvimetalurgia), como se detalla en la Tabla B1. 1 del Anexo B1.

Cada producto final mantiene el mismo perfil de su correspondiente preforma, pero estas tienen un grosor añadido de 5 mm (2,5 mm por cada lado). Dicho grosor se mecanizará para alcanzar el producto final.

Se ha seleccionado un grosor de 5 mm ya que, uno mayor, conllevaría una pérdida de tiempo y dinero durante el mecanizado. Mientras que un grosor menor, podría repercutir en un alto rechazo de piezas al no haber margen suficiente para mecanizar.

3.1.2. Determinación del proceso productivo

Se define como proceso productivo o Hoja de ruta los pasos necesarios para mecanizar desde la preforma en bruto hasta el producto final (Imagen 3. 1).

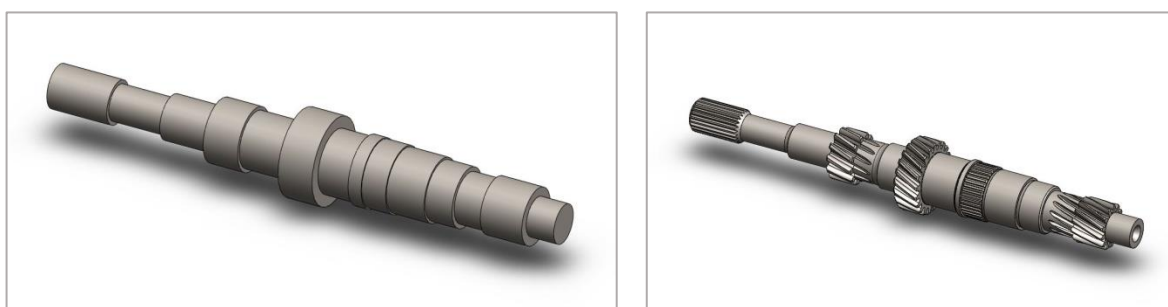


Imagen 3. 1 Comparativa entre preforma y pieza final

Como las preformas ya están determinadas en el apartado 3.1.1 Preformas, queda por definir que operaciones, que tipo de máquina, que herramientas y que condiciones de corte son necesarias para llegar a la pieza final.

Para ello se crea la plantilla (Imagen B2. 1) adjunta en el Anexo B donde se aprecia la distribución de las siguientes secciones:

- N.º de fase
- Croquis de la zona a mecanizar
- N.º de máquina y tipo de máquina
- Descripción de la fase
- Soporte utilizado
- Referencia de la herramienta
- Esquema de la herramienta
- Velocidad de corte (S)
- Avance de corte (F)
- Profundidad de corte (p)
- Tiempo de mecanizado (T_{mec})
- Tiempo total de fase ($T_{total\ maq}$)
- Tratamiento térmico

Croquis de la zona a mecanizar

En esta sección se definirá un pequeño croquis con el cual determinar la sección que va a ser trabajada (Imagen 3. 2).

De esta forma los operarios pueden identificar cualquier operación fácilmente, verificar su correcta ejecución y realizar los controles de calidad pertinentes.

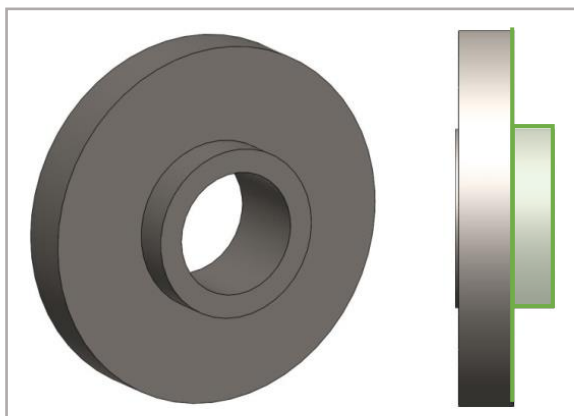


Imagen 3. 2 Ejemplo croquis con detalle zona a mecanizar

N.º de máquina y tipo de máquina

Para realizar los procesos productivos de los componentes ha sido necesaria la elección de una gran variedad de máquinas (tornos, fresadoras, rectificadoras, etc.).

Dentro de las diferentes máquinas seleccionadas, se ha especificado también el número de husillos y el número de torretas.

En la Tabla B2. 1 del Anexo B se puede ver las máquinas utilizadas para la realización del proyecto.

Descripción de la fase

Se establece como fase toda operación en la cual se realiza el mecanizado de una sección sin cambiar de herramienta.

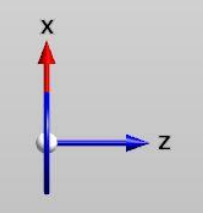
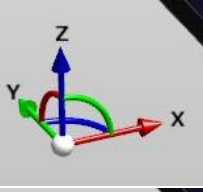
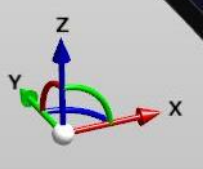
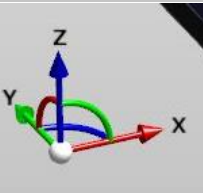
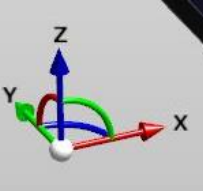
Para ello se concreta una explicación breve de la operación a realizar como por ejemplo: *Refrentado de la cara “A” en desbaste y acabado en eje X.*

La definición de los ejes viene determinada por la máquina utilizada como se observa en la Imagen B2. 2 e Imagen B2. 3 (adjuntas en el Anexo B). Para este proyecto se utiliza la maquinaria incluida dentro del software de CAM.

Puesto que nuestro software de CAM únicamente incluye tornos y fresas, se consideran los ejes para la laminadora, achaflanadora y rectificadora los mismos que para la fresadora.

La Tabla 3. 2 resume los ejes en función de la maquinaria.

Tabla 3. 2 Ejes en función de la máquina

DETERMINACIÓN DE LOS EJES PARA LAS DIFERENTES MÁQUINAS			
MAQUINARIA	EJES		
Torno			
Fresadora			
Laminadora			
Achaflanadora			
Rectificadora			

Soporte utilizado

El soporte utilizado para el mecanizado de todos los componentes trabajados en el proyecto será una garra autocentrante como la de la Imagen 3. 3.

Las características del soporte utilizado se pueden ver en la Tabla B2. 2 adjunto en el Anexo B.

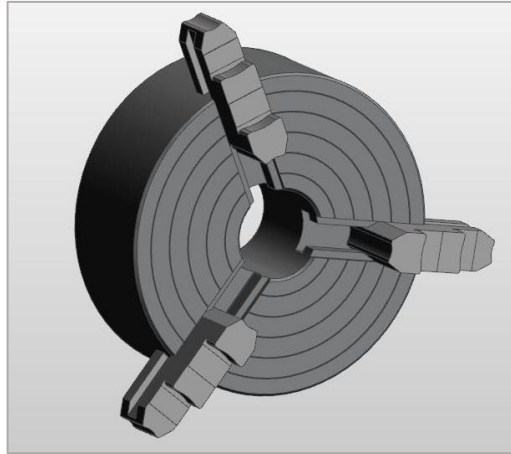


Imagen 3. 3 Garra autocentrante

Tratamiento térmico

El objetivo de aplicar un tratamiento térmico a las piezas reside en acentuar alguna característica física concreta. En el caso de este proyecto, se aumenta la dureza.

Para el tratamiento térmico se ha establecido una secuencia de:

1. Carbonitruración
2. Templado
3. Lavado
4. Revenido.

Esta secuencia viene definida por la temperatura, tipo de termopar, la agitación (templado) y el tiempo del tratamiento. Todo ello dependiendo del tipo de pieza a tratar (ejes o engranajes).

En la Tabla B2. 3 y la Tabla B2. 4 se puede ver el tratamiento correspondiente para ejes y para engranajes. Igualmente, el detalle de cada proceso (temperatura, tipo de termopar, agitación y tiempo del proceso) viene adjunto en cada hoja de ruta para poder evitar errores en los tratamientos.

Finalmente destacar que establecer el proceso de tratamiento térmico no es un objetivo del trabajo y gracias a la ayuda de la empresa Seat Componentes, los tratamientos térmicos detallados anteriormente han sido facilitados a través de dicha empresa.

3.2. Herramientas de corte

Las herramientas de corte sirven para realizar una modificación sobre una preforma con la finalidad de obtener un producto final.

Según se estipula en la descripción de la fase del apartado 0 Se consideran como preformas o semiproductos, a las piezas en bruto previas a ser sometidas a los procesos de mecanizado. Estas piezas se han obtenido a partir de fundición o compactación en polvo (pulvimetalurgia), como se detalla en la Tabla B1. 1 del Anexo B1.

Cada producto final mantiene el mismo perfil de su correspondiente preforma, pero estas tienen un grosor añadido de 5 mm (2,5 mm por cada lado). Dicho grosor se mecanizará para alcanzar el producto final.

Se ha seleccionado un grosor de 5 mm ya que, uno mayor, conllevaría una pérdida de tiempo y dinero durante el mecanizado. Mientras que un grosor menor, podría repercutir en un alto rechazo de piezas al no haber margen suficiente para mecanizar.

Determinación del proceso productivo, cada operación se puede realizar en una máquina diferente y por lo tanto la herramienta probablemente cambie.

El siguiente apartado va a determinar, dentro de lo posible, las características de las herramientas utilizadas.

Podemos determinar, siguiendo el apartado 2.9 Selección del material, que el material a trabajar es una aleación de acero (18CrNiMo7-6 (1.6587)) y siguiendo el catalogo del fabricante, se estipula que nuestro material está dentro de la categoría M dentro de la norma ISO (Tabla B3. 1). Este aspecto debe ser tenido en cuenta a la hora de realizar la selección de la herramienta, puesto que esta debe ser capaz de mecanizar dicho material.

Cabe destacar, que en las operaciones de dentado, laminado, achaflanado y rectificado no ha sido posible determinar las herramientas, y como consecuencia, se establece un ejemplo en la hoja de ruta y no se determinan sus características de corte.

Finalmente se determinará la vida útil, previamente establecida para 15 minutos.

3.2.1. Características

Para el criterio tomado en los procesos productivos las características específicas necesarias:

- Referencia de la herramienta
- Esquema de la herramienta
- Angulo de corte
- Velocidad de corte
- Avance
- Profundidad de corte

En la Tabla B3. 2 se detallan las características mencionadas. Por otro lado, en el Anexo B3 se adjuntan las imágenes de la definición de las herramientas en el software de CAM.

Finalmente, en la Tabla B3. 3 y Tabla B3. 4 se especifican las características de las plaquitas de corte seleccionadas.

Indicar que, los valores de velocidad de corte, avance y profundidad son extraídos del catálogo del fabricante y que este, esta anexado digitalmente.

3.2.2. Vida útil

Dado que durante las operaciones de mecanizado las herramientas de corte son sometidas a condiciones de corte exigentes (velocidad de corte, avance, esfuerzos mecánicos, fricción entre materiales, etc.).

Por este motivo las herramientas no disponen de una vida infinita y se rompen o deterioran perdiendo su eficacia.

En las características determinadas en el apartado 3.2.1 Características se describen las especificaciones de corte de cada herramienta y, estas solo son válidas para una vida útil de 15 minutos.

Partiendo de la base de estas especificaciones y siguiendo la Tabla B3. 5 adjuntas en el Anexo B3, se adecua las características de corte para una vida útil de la herramienta de 45 minutos.

En la Tabla 3. 3 se definen para las nuevas especificaciones de corte para una vida útil de 45 minutos.

Tabla 3. 3 Condiciones de corte de las herramientas utilizadas durante el proceso para una vida útil de 45 minutos

CARACTERISTICAS DE LAS HERRAMIENTAS					
Ref. herramienta	Utilidad	Velocidad de corte (S [m/min])		Avance (F [mm/rev])	
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado
CNMG 12 04 04 WF 2015	Cilindrado exterior y refrentado	172,5	206,25	0,25	0,15
DNMX 11 04 04 WF 2015	Cilindrado interior	157,5	195	0,3	0,2
N123K2-0600-0002-GF 2135 (H)	Ranurado horizontal	Desbaste 67,5		Desbaste 0,11	
N123K2-0600-0002-GF 2135 (V)	Ranurado vertical	Desbaste 67,5		Desbaste 0,11	
N123D2-0150-0001-GF 1125	Ranurado vertical	Acabado 90		Acabado 0,08	
PE016S	Agujero	Acabado 90		Acabado 0,1	

Indicar que, en las imágenes de las tecnologías adjuntas en el Anexo B3 creadas en el software de CAM indica una vida útil de 60 minutos con los valores indicados en la Tabla 3. 3 anterior. No obstante, existe un error en el software.

3.3. Simulación CAM

Se define como CAM (computer-aided manufacturing) a la fabricación asistida por ordenador. Proceso mediante el cual se transforman las piezas diseñadas por ordenador (CAD) a los lenguajes de control numérico (CNC) de las diferentes máquinas de manufacturación.

En este apartado se recoge el proceso de simulación CAM empleado, así como una descripción del software empleado y los programas CNC generados.

3.3.1. Herramientas de software utilizadas

La utilización de un programa adecuado de CAM ha sido un punto conflictivo para la realización de este proyecto. A lo largo del mismo, se ha intentado utilizar varios programas debido a problemas con formatos y tipos de archivo, así como con la complejidad de algunos procesos a simular. Esto ha llevado a la conclusión descrita a continuación.

Primeramente, se optó por utilizar el software Surfcam, el cual se descartó tras un par de días de prueba ya que se quedaba corto para la complejidad de nuestros procesos de mecanizado.

Seguidamente se utilizó por otro software creado por la misma empresa que el anterior, el Edgecam. Este software utilizado industrialmente, cumplía con las necesidades de nuestro proyecto además de ser compatible con los archivos de SolidWorks. Así pues, se optó por comenzar a realizar los procesos de torneado especificados en las hojas de ruta con este software.

A continuación, se intentó simular en Edgecam los procesos de dentado, estriado, achaflanado y rectificado si éxito. Se realizaron probas y se invirtió mucho tiempo en este punto. Finalmente se consiguió realizar la simulación de algún proceso suelto o parte de este, pero insuficiente para obtener datos y tiempos de mecanizado aceptables para proseguir con el proyecto. Así pues, se llegó a la conclusión de que, dada la complejidad de las piezas y los recursos disponibles, resultaba inviable realizar la simulación de estos procesos en los plazos designados.

Llegados a este punto se intentó realizar el mecanizado de dichas operaciones con el módulo de CAM del programa CATIA. Este software es uno de los más utilizado a nivel internacional en procesos de mecanizado. Pero, tras algunas pruebas nos vimos obligados a descartar su utilización debido a incompatibilidades con los formatos de archivo en SolidWorks. Se llegó a la conclusión de que, para simular correctamente dichos mecanizados en CATIA, debíamos rediseñar todas las piezas en este software. Lo cual hubiese supuesto meses de trabajo.

Posteriormente se planteó la utilización de otro software de CAM llamado PTC Creo. Pero, tras todo el tiempo invertido en esta parte del proyecto, se optó por descartarlo ya que no se disponía de recursos ni tiempo suficiente para comenzar desde cero con un nuevo software.

Finalmente, se continuó el proyecto con los datos obtenidos de Edgecam así como con los datos facilitados por la empresa Seat Componentes, para aquellos procesos de mecanizado de los cuales no ha sido posible su simulación por los motivos anteriormente expuestos.

3.3.2. Procesos simulados

Se ha realizado la simulación con el software Edgecam de todos los procesos de torneado para las piezas trabajadas en este proyecto (descritas en la Tabla 3. 1). Estos procesos incluyen las operaciones de refrentado, cilindrado, ranurado y taladrado de los agujeros para centros.

Se han distribuido estos procesos en varios tornos tal y como queda reflejado en las correspondientes hojas de ruta de cada pieza (Anexo B6).

Para estas simulaciones se han empleado máquinas virtuales incluidas en Edgecam, las cuales cuentan con el mismo número de ejes y usillos que las reales para cada proceso simulado (véase Tabla B2. 1 del Anexo B). Asimismo, en la Imagen B2. 2 y la Imagen B2. 3 se pueden visualizar ejemplos de dichas máquinas virtuales.

Por otro lado, todas las herramientas seleccionadas para mecanizar nuestras piezas (descritas en el punto 3.2 Herramientas de corte) han sido incluidas en el software Edgecam para realizar la correcta simulación de los procesos de mecanizado. En el Anexo B3 Herramientas de corte, se pueden ver imágenes de todas las herramientas que se han incluido en Edgecam.

Además, se ha utilizado como garra autocentrante para sostener las piezas en las diferentes máquinas simuladas, el mismo modelo descrito en la Tabla B2. 2 del Anexo B.

De la misma forma, también se ha incluido en Edgecam el material seleccionado en el punto 2.9 Selección del material (véase Tabla 2.9).

Comentar también que se ha activado el refrigerante en todos los procesos simulados dado que todas las máquinas de las líneas originales funcionaban con refrigerante.

Una vez realizada la simulación de estos procesos de torneado, se han generado los archivos con el código CNC correspondientes a los procesos de mecanizado simulados. Se puede ver un ejemplo de este código en la Imagen B4. 1 del Anexo B4. También se ha generado archivos llamados “Live job report”, los cuales se pueden considerar como hojas de ruta propias de Edgecam. En estos archivos se especifican los tiempos de mecanizado que posteriormente se han utilizado para proseguir el proyecto.

En el Anexo B4 se pueden encontrar dos imágenes de los procesos simulados en Edgecam (Imagen B4. 2 e Imagen B4. 3). Por otro lado, en la documentación digital adjunta se recogen todos los archivos generados de simulación, todas las preformas y piezas resultantes de cada proceso de mecanizado, los videos de todas las simulaciones realizadas y todos los Live job reports y códigos CNC generados.

3.3.3. Tiempos del proceso productivo

Una vez realizadas las diferentes simulaciones de todos los procesos productivos posibles y determinado los tiempos de aquellas operaciones no simuladas a través de los datos facilitados por la empresa Seat Componentes, estos, son introducidos en las hojas de ruta detalladas en el apartado 0 Se consideran como preformas o semiproductos, a las piezas en bruto previas a ser sometidas a los

procesos de mecanizado. Estas piezas se han obtenido a partir de fundición o compactación en polvo (pulvimetalurgia), como se detalla en la Tabla B1. 1 del Anexo B1.

Cada producto final mantiene el mismo perfil de su correspondiente preforma, pero estas tienen un grosor añadido de 5 mm (2,5 mm por cada lado). Dicho grosor se mecanizará para alcanzar el producto final.

Se ha seleccionado un grosor de 5 mm ya que, uno mayor, conllevaría una pérdida de tiempo y dinero durante el mecanizado. Mientras que un grosor menor, podría repercutir en un alto rechazo de piezas al no haber margen suficiente para mecanizar.

Determinación del proceso productivo (hojas de ruta adjuntas en el Anexo B2).

Estos tiempos son necesarios para poder determinar las líneas productivas y posibles problemas como cuellos de botella o falta de productividad.

La Tabla 3. 4 muestra el resumen de los tiempos totales de cada componente trabajado en el proyecto.

Tabla 3. 4 Resumen de los tiempos de mecanizado de los diferentes componentes del proyecto

TIEMPOS TOTALES DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LOS DIFERENTES COMPONENTES	
PIEZA	TIEMPO (min)
Eje primario	31,7
Eje secundario	27,4
1º cono	20,3
2ª cono	18,3
3ª cono	13,8
4ª cono	14,2
5ª cono	13,3
5ª plana	14,8
Marcha atrás cono	16,4
Marcha atrás plana	13,7
Engranaje secundario	10,9
Desplazable 1ª – 2ª	1,6
Desplazable 3ª – 4ª	1,5
Desplazable 5ª – M.A.	1,5

Detallar que los tiempos indicados en la Tabla 3. 4 son únicamente del tiempo que la pieza está en la máquina (mecanizando y cambios de herramienta).

En nuestro proceso productivo, de media una pieza tarda en realizar todas las operaciones un tiempo de 15 minutos.

3.4. Diseño de las líneas productivas

Una vez recopilados todos los datos generados en cada uno de los procesos productivos (Tabla B5. 1 del Anexo B5) se deben elaborar:

- Camino crítico
- Productividad de las líneas
- Distribuciones de las líneas productivas

3.4.1. Planteamiento inicial

En un planteamiento inicial, la producción se distribuye en seis líneas flexibles donde se dividen los diferentes componentes en ellas. La distribución inicial queda detallada en el Anexo B5).

Camino crítico

El camino crítico es aquel camino de cualquier proceso productivo el cual no dispone de margen de tiempo para realizar su ejecución.

En planteamiento inicial, en el proceso productivo principalmente existe un único camino crítico, pero, al determinar líneas flexibles que producen más de un tipo de pieza, se realiza el estudio de los caminos críticos de estas líneas múltiples por separado. De esta manera se puede determinar posibles problemas en la producción.

Siguiendo la Tabla B5. 1 se determinan también, las precedencias o incompatibilidades existentes. Estas se encuentran recogidas en la Tabla B5. 2 del Anexo B5.

Determinado que no existen incompatibilidades, se determina que todos los procesos pueden realizarse a la vez y que son independientes entre ellos.

Además, se verifica que el camino crítico (Anexo B5) de todos los procesos productivos reside en el eje primario con un tiempo total de 31,7 minutos.

Segmentando, los procesos en función de las diferentes líneas productivas planteadas, se concreta según la Tabla 3. 5 los diferentes caminos críticos (véase Anexo B5).

Tabla 3. 5 Caminos críticos de las líneas productivas múltiples

CAMINOS CRÍTICOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN		
LÍNEA PRODUCTIVA	PIEZA DEL CAMINO CRÍTICO	TIEMPO TOTAL (min)
Línea eje primario	Eje primario	31,7
Línea eje secundario	Eje secundario	27,4
Línea engranajes con ranurado	1ª cono	20,3
Línea engranajes sin ranurado 1	4ª cono	14,2
Línea engranajes sin ranurado 2	5ª plana	14,8

Comentar que, para la línea de los desplazables no es necesario determinar el camino crítico puesto que la línea únicamente constaría de tres tornos para el ranurado de cada desplazable.

Estudio de la productividad

Para realizar el estudio de productividad se especifica que, las líneas de producción funcionan de forma ininterrumpidamente en tres jornadas de 8 horas.

Partiendo de este tiempo, el camino crítico determina aquellos procesos que puedan conllevar posibles problemas, pero, no indica la capacidad productiva de las líneas ni sus cuellos de botella.

Para ello, se plantea un primer diseño de la distribución (véase Anexo B5) en el que se determina un número de máquinas en función del proceso a realizar, con el cual, se puede realizar un primer vistazo a la capacidad productiva de nuestras líneas y ver las necesidades reales de estas.

Para poder determinar la capacidad productiva, se parte de la base de las piezas las cuales, son caminos críticos en sus líneas flexibles (Tabla 3. 5). De esta forma, si el proceso de la pieza cumple la producción, el resto de procesos de dicha línea también lo cumplirá.

Entonces, para determinar la productividad máxima se determina el tiempo promedio que tarda una pieza en ser mecanizada en la máquina y posteriormente se aplica la Ec 3. 1.

$$Productividad = \frac{Jornada\ laboral}{Promedio\ de\ pieza} \cdot Tiempo\ efectivo \quad Ec\ 3.\ 1$$

El tiempo efectivo se define como el porcentaje de tiempo en el que realmente se está produciendo. Este, se establece en un 90% el cual viene caracterizado por:

- Tiempo invertido en cambios de herramientas
- Posibles atascos
- Tiempos perdidos en los pulmones de las máquinas
- Efectividad del personal

Los datos extraídos a través de este estudio se pueden ver en las tablas de producción del Anexo B5 donde se determina la producción máxima en función del número de máquinas y la productividad establecidas en el planteamiento inicial.

Tal y como se especifica en la Tabla 3. 6 y analizando las producciones y productividad se puede observar que, aun teniendo una alta productividad, la cadena de procesos presenta cuellos de botella en la línea de los engranajes con ranurado (apartado que se tratara posteriormente) que impiden alcanzar dicha productividad y alcanzando una producción máxima de 439 unidades. Teniendo en cuenta que, la línea del engranaje con ranurado produciría tres tipos de pieza la producción máxima quedaría en 146 unidades. Así, la capacidad productiva con este planteamiento sería muy limitada e incluso se fabricaría 73 unidades menos lo cual no interesa.

Tabla 3. 6 Productividad máxima del planteamiento inicial

PRODUCTIVIDAD PLANTEAMIENTO INICIAL		
LÍNEA	PRODUCCIÓN MAXIMA	PRODUCTIVIDAD
Línea eje primario	670	1491
Línea eje secundario	628	1425
Línea engranaje con ranurado	439	1052
Línea engranaje sin ranurado 1	929	2028
Línea engranaje sin ranurado 2	873	1932
Línea desplazables	900	No procede

Cuello de botella

Un cuello de botella se denomina a todo elemento o proceso que disminuye o limita la cantidad de producción en un proceso productivo.

Este proceso, se origina cuando una fase de la producción se desarrolla con una mayor lentitud que el resto de fases productivas acotando de esta manera la producción máxima.

Tal y como hemos visto en la Tabla 3. 6, el planteamiento inicial presenta un cuello de botella en conjunto completo. Para este planteamiento inicial el cuello de botella se presenta en la línea de los engranajes con ranurado.

3.4.2. Planteamiento optimizado

Después de analizar el primer planteamiento y detectar que no es viable, se reestructura las diferentes líneas y se realiza un nuevo planteamiento.

Este planteamiento, reduce la cantidad de máquinas de 66 a 54 y reduce en una, las líneas flexibles. Dado que se pretende un planteamiento más óptimo y poder fabricar más unidades, se pone como objetivo las 400 unidades diarias. En la Tabla B5. 10 y Tabla B5. 11 se establece la distribución de las nuevas líneas y los objetivos por línea.

Camino crítico

Determinadas las nuevas líneas productivas y la nueva distribución para las diferentes piezas, se deben establecer los nuevos caminos críticos de las líneas.

En la Tabla 3. 7 siguiente se determina según la línea, el camino crítico y su tiempo total.

Tabla 3. 7 Caminos críticos de las líneas productivas múltiples

CAMINOS CRÍTICOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN		
LÍNEA PRODUCTIVA	PIEZA DEL CAMINO CRÍTICO	TIEMPO TOTAL (min)
Línea ejes	Eje primario	31,7
Línea engranajes con ranurado	Marcha atrás cono	19,8
Línea engranajes sin ranurado 1	4ª cono	14,2
Línea engranajes sin ranurado 2	5ª plana	14,8
Línea desplazables y 1ª cono	1ª cono	20,3

En este caso, se debe realizar el estudio del camino crítico para todas las líneas planteadas (véase el Anexo B5).

Estudio de la productividad

Siguiendo el mismo proceso que para el planteamiento inicial y determinado el objetivo de producción en 400 piezas diarias. En la Tabla B5. 11 se detalla la producción diaria según la línea flexible.

Para alcanzar dicho objetivo, se realiza de nuevo el mismo estudio de producción máxima y productividad, (véase el Anexo B5) obteniendo como resultado la siguiente tabla.

Tabla 3. 8 Producción y productividad máxima del planteamiento del objetivo de producción

PRODUCTIVIDAD PLANTEAMIENTO CON OBJETIVO DE 400 UNIDADES DIARIAS			
LÍNEA	OBJETIVO	PRODUCCIÓN MAXIMA	PRODUCTIVIDAD
Línea ejes	800	931	1605
Línea engranaje con ranurado	800	873	1228
Línea engranaje sin ranurado 1	1200	1227	1802
Línea engranaje sin ranurado 2	1200	1309	1970
Línea desplazables y 1ª cono	800	873	1068

De la Tabla 3. 8 podemos extraer que, tras la modificación (véase las nuevas distribuciones en el Anexo B5) la producción máxima, viene determinada por el cuello de botella en la línea de los engranajes con ranurado y línea de desplazables y 1ª cono, que presenta una producción máxima de 873 unidades. En este caso, hay que tener en cuenta que esta línea produce 2 tipos de piezas, así pues, la producción máxima de cada tipo sería de 436 unidades diarias. De esta forma, la producción máxima supera el objetivo implantado y existiría margen por posibles incidencias.

Cuello de botella

En el caso del planteamiento optimizado y con el objetivo de 400 unidades diarias, el cuello de botella se establece en la línea de los engranajes con ranurado y línea de desplazables y 1ª cono.

No obstante, en cada línea productiva existe su propio cuello de botella que, hay que tener en cuenta. En la Tabla 3. 9 se detalla los diferentes cuellos de botella presentes en las diferentes líneas, no obstante, estos no son de vital importancia pues, exceptuando aquellos limitadores de producción, todos presentan altos márgenes frente al objetivo implantado.

Tabla 3. 9 Ubicación de los cuellos de botella en función de la línea flexible

CUELLOS DE BOTELLA EN FUNCIÓN DE LA LÍNEA PRODUCTIVA		
LÍNEA	OPERACIÓN	PRODUCCIÓN MÁXIMA
Línea ejes	Fresadora 1	931
Línea engranaje con ranurado	Torno 3	873
Línea engranaje sin ranurado 1	Fresadora	1227
Línea engranaje sin ranurado 2	Torno 1	1309
Línea desplazables y 1ª cono	Torno 1	873

Tal y como se comenta anteriormente, todas las líneas cumplen el objetivo utilizando menos recursos. Después de verificar el planteamiento de las distribuciones, se verifica la viabilidad del planteamiento en función de las máquinas.

En la Tabla 3. 10 siguiente se detallan las máquinas necesarias para el planteamiento establecido para la producción de 400 unidades y las máquinas existentes en las distribuciones iniciales.

Tabla 3. 10 Verificación de la posibilidad del proyecto según maquinaria

Nº DE MÁQUINAS EN FUNCIÓN DEL PLANTEAMIENTO			
DISTRIBUCIÓN ORIGINAL		DISTRIBUCIÓN OPTIMIZADA	
TORNO1	14	TORNO1	11
TORNO 2 Y 3	19	TORNO 2 Y 3	17
FRESADORA	12	FRESADORA	8
ACHAFLANADORA	14	ACHAFLANADORA	7
LAMINADORA	3	LAMINADORA	1
RECTIFICADORA	14	RECTIFICADORA	10

3.5. Automatización de las líneas productivas optimizadas

3.5.1. Distribuciones automatizadas

Se ha establecido un total de 5 líneas productivas automatizadas a partir del punto 3.4.2. Estas líneas están constituidas por un conjunto de cintas transportadoras, sensores y actuadores para dirigir las piezas por las diferentes máquinas. Cada pieza circula por la cinta colocada una sobre un soporte específico para cada tipo de pieza y etiquetado con un código QR. Dichas líneas quedan

representadas de forma esquemática en la Imagen B6. 1, Imagen B6. 2, Imagen B6. 3, Imagen B6. 4 e Imagen B6. 5 del Anexo B6.

En estas representaciones esquemáticas de las líneas se pueden ver una serie de sensores y actuadores encargados del correcto funcionamiento de la línea. La nomenclatura y simbología utilizada para representar dichos sensores y actuadores queda recogida en la Tabla B6. 1 del Anexo B6. Comentar además que el estado por defecto de todos los electroimanes (EVP) y electroválvulas (EVFP y EVFA) es cerrado.

Comentar que, en los apartados restantes de este punto, se utiliza como ejemplo la línea para ejes. Dado que todas las líneas siguen la misma secuencia, simplemente variando la cantidad de máquinas y entradas/salidas de material, una sola línea sirve de modelo representativo de todas ellas.

Sensores y actuadores

En este apartado, se va a detallar los diferentes sensores y actuadores implicados en la distribución de las piezas a lo largo de toda la cadena.

Para ello, se han determinado tres tipos de elementos, los sensores, los accionadores y los actuadores.

Sensores

Los sensores son todos aquellos que captan una información y la transmiten. En este caso, en la Tabla B6. 2 del Anexo B6, se detallan los tipos de sensores necesarios, el tipo de sensor y el sensor elegido.

Accionador

Se contempla como accionador, todo aquel útil que excitándolo activa un actuador, pero, a diferencia del sensor este no capta una información. En la

Tabla B6. 3 del anexo B6 se detallan los diferentes accionadores.

Destacar que, EVFP y EVFA son electroválvulas monoestables que accionan un pistón de simple efecto que se determinan en el apartado de actuadores.

Actuador

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. En la Tabla B6. 4 del anexo B6, se determinan todos los actuadores usados para las distribuciones.

Respecto a los sensores Lector de Soporte (LS) y Sensor de Pieza Óptica (SPO), comentar que disponen de dos modos (input y output) ya que están capacitados para enviar y recibir información. El objetivo de esto es poder gestionar correctamente las piezas ya que, una vez identificadas por estos sensores, el programa debe decidir qué hacer con ellas.

Bloques de sensores y actuadores utilizados

Como se puede apreciar en las representaciones esquemáticas de las líneas anteriormente mencionadas, gran parte de los sensores y actuadores se reparten por la línea en bloques (Imagen 3. 4).

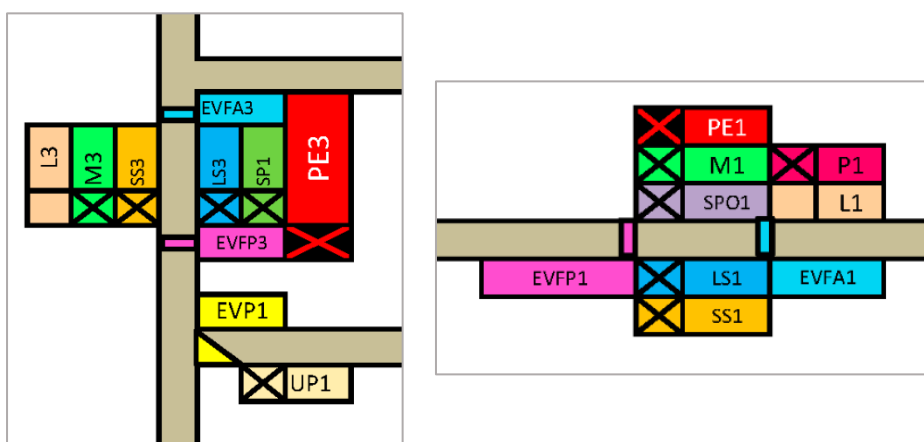


Imagen 3. 4 Ejemplo de bloques de sensores y actuadores

El objetivo de los bloques es identificar las piezas en ciertos puntos del sistema para dedicar el camino que deben tomar o la operación que se les debe realizar en las máquinas.

Estos bloques se han dividido por tipos dependiendo de su función. Así pues, todos los bloques de un mismo tipo tienen el mismo funcionamiento y se rigen por el mismo programa. En la Tabla B6. 5 se encuentra la descripción de la ubicación y de la función de los diferentes tipos de bloques.

En la Imagen B6. 6 se puede ver la línea para ejes con los bloques marcados con recuadros de colores según su tipo. Asimismo, en la Tabla B6. 6 se encuentra la leyenda de los colores de dichos recuadros.

Comentar también que todos los bloques de las líneas se han numerado según la numeración de sus componentes. Por ejemplo, en la línea para ejes, el bloque 4 (tipo A) es el que se encuentra en el TOR1, ya que la mayoría de sus componentes llevan la numeración 4 (véase Imagen B6. 1).

Respecto a los motores encargados del movimiento de las cintas transportadoras, cabe destacar que se han colocado estratégicamente e intentando reducir lo máximo posible su cantidad.

En la Tabla B6. 7 se puede ver un resumen de la función de cada motor de la línea para ejes. Así como una explicación y la correlación con los bloques de sensores y actuadores a los que cada motor está asociado.

En la Imagen B6. 7 se puede ver la línea para ejes con las diferentes cintas diferenciadas por colores. Asimismo, en la Tabla B6. 8 se encuentra la leyenda de los colores de dicha imagen y la relación entre las cintas y los motores que mueven cada cinta.

Cabe destacar el hecho de que en las cintas de entrada y salida de materiales hay un solo motor por cinta. Esto hace que en cada una de estas cintas haya un bloque tipo C y tipo D, los cuales están asociados al mismo motor.

3.5.2. GRAFCETS

Mediante una representación en lenguaje GRAFCET, se ha esquematizado el funcionamiento de las líneas productivas.

Se ha creado un GRAFCET para gestionar el funcionamiento de cada uno de los bloques de sensores y actuadores anteriormente mencionados.

Criterios de funcionamiento

Ha sido necesario establecido una serie de criterios básicas al crear los GRAFCETS para asegurar el correcto funcionamiento automatizado de los bloques. A continuación se recopilan estos criterios.

- Todos los paros de emergencia (PE) de la línea los pueden activar los operarios, el programa o las máquinas.
- La cinta principal de la línea no se detiene salvo en caso de darse un paro de emergencia general (PEG) o el paro explícito de la cinta (PE0). Si se produce un PE en los bloques tipo B o E (los cuales van asociados a la cinta principal), solo se detiene ese bloque. Pero la cinta principal sigue funcionando para no detener la línea completa.
- Si se produce un paro de emergencia (PE) en los bloques tipo A, C y D, si se para su cinta asociada.
- El tiempo T1 para todos los GRAFCETS se ha estimado en 1,5s. Tiempo que tarda un soporte en abandonar un bloque de sensores y actuadores.
- Al darse un paro de emergencia general (PEG), todos los GRAFCETS deben entra en PE.
- Si se produce un PE, este debe notificarse al programa de control de la línea para poder gestionar correctamente las piezas en circulación como consecuencia.

- Los bloques tipo C y D van asociados al mismo motor. En caso de PE de cualquiera de ellos se detiene la cinta en la que se encuentran los dos bloques.
- Si se produce PE del bloque tipo B o E mientras la pieza se dirige al pulmón de la máquina o de la salida (tramo de la cinta transportadora con piezas a la espera de ser procesadas), la pieza primero llega al pulmón y luego se produce el del bloque. No se detiene la pieza en algún lugar intermedio aleatorio.
- Todos los bloques deben comprobar que haya una pieza sobre el soporte detectado para evitar la circulación de soportes vacíos por las cintas (excepto en las salidas de la línea). En este caso el bloque se pararía (PE). Esto puede ocurrir al llevarse piezas de las cintas al control de calidad.

Programas realizados

Los GRAFCETS creados correspondientes a la línea para ejes se pueden ver en el Anexo B6, así como una breve explicación escrita del funcionamiento de cada uno de ellos. Además de la simbología habitual de los GRAFCETS, ha sido necesaria la utilización de ciertos caracteres poco habituales, estos quedan recogidos en la leyenda de la Tabla B6. 9.

Se han creado seis GRAFCETS, cada uno asociado a cada tipo de bloque de los ya explicado anteriormente. Dado que todos los bloques pertenecientes de un mismo tipo son idénticos, su GRAFCET es el mismo para todos ellos. Por este motivo solo se ha creado un GRAFCET como ejemplo con un bloque perteneciente a cada tipo.

En la Tabla B6. 10 se puede ver la relación entre GRAFCETS y bloques de sensores y actuadores de cada tipo para la línea de los ejes.

Comentar además que, el sexto GRAFCET (tipo F), va asociado a todos los bloques de la línea ya que sirve para controlar todos los motores y el paro de emergencia general.

3.5.3. Programa de control

Además de los GRAFCETS, es necesario utilizar un programa de control capaz de gestionar todos los bloques de la cinta simultáneamente mediante un algoritmo. Este algoritmo no ha sido creado ya que debe desarrollarse en un entorno de programación, pero si se han definido los criterios para el funcionamiento del mismo. Este programa debe conocer el estado, la ubicación de cada pieza, soporte, máquina, sensor, actuado y motor de la línea mediante información almacenada en listas. Así como las operaciones a realizar en cada tipo de pieza de la línea y los códigos CNC de estas operaciones.

El programa de control se comunica con los diferentes bloques de la línea mediante los sensores capaces de enviar y recibir información ubicados en cada bloque. Estos son los llamados Lector de Soporte (LS) y Sensor de Pieza Óptico (SPO) los cuales tienen una entrada de información (input) y una salida de información (output).

Criterios de funcionamiento

Ha sido necesario establecido una serie de criterios de funcionamiento para asegurar el correcto funcionamiento automatizado del programa de control. A continuación se recopilan estos criterios.

- El programa debe registrar en sus listas los soportes circulando por la línea identificados mediante código QR. Asimismo, también debe registrar la hora en la que se realiza una operación y operario al cargo durante el proceso.
- El algoritmo del programa debe ser capaz de decidir la ruta por la que debe circular una pieza cuando un bloque de sensores y actuadores de la línea se lo solicite.
- Dado que una máquina puede realizar operaciones diferentes dependiendo de la pieza a procesar, el programa de control se encarga de introducir en la máquina el código CNC correspondiente a dicha operación para la pieza identificada (Bloques tipo A).
- En el pulmón de las máquinas se permiten 20 piezas como máximo. En caso de llegar al límite, el programa mantiene las piezas circulando por la cinta principal hasta haber espacio en el pulmón.
- En el pulmón de las salidas/entradas de material se permiten 50 piezas como máximo siguiendo el mismo criterio anterior.
- Los operarios pueden editar la lista del programa. Pueden añadir comentarios o incidencias en todos los puntos del recorrido de una pieza y añadir o eliminar piezas y soportes manualmente. Esto es debido a la posibilidad de desechar o se añadan piezas a la línea manualmente.
- El Lector de Soporte (LS) y Sensor de Pieza Óptico (SPO) mencionados anteriormente son los encargados de comunicarse desde los bloques de sensores y actuadores con el programa de control (input, output). Para enviar información al programa utilizan sus salidas LSo y SPOo (outputs) y para recibir información del programa sus entradas LSi y SPOi (inputs).
- Los bloques de sensores y actuadores informan al programa de control cuando se produce un paro de emergencia (PE) en algún punto de la línea (LSXo==5 en los GRAFCETS). Gracias a esto, si una máquina está en PE, el programa se encarga de no hacerle entrar piezas y las mantiene circulando por la línea hasta que se resuelva el PE.
- Si hay dos máquinas iguales en paralelo, se distribuyen las piezas equitativamente, no se espera a llenar el pulmón de la primera para empezar a llenar la segunda.

En el Anexo B6 se encuentran las plantillas de las listas que contiene el programa de control con toda la información relativa a las piezas de la línea. Estas listas son las siguientes.

- Lista que correlaciona soportes y piezas Tabla B6. 11.
- Lista con la información del recorrido de cada soporte por la línea Tabla B6. 12.
- Las listas de operaciones a realizar en las diferentes máquinas para cada tipo de pieza de la línea. Además, incluye la ruta de acceso a las diferentes máquinas pasando por los bloques de sensores y actuadores y el código CNC correspondiente a dichas operaciones
- Tabla B6. 13 y Tabla B6. 14.
- Lista de información del estado de las máquinas Tabla B6. 15.
- Lista de información del estado de los bloques de sensores y actuadores Tabla B6. 16.
- Listas con las posibles instrucciones de comunicación que se pueden dar entre bloques de sensores y actuadores y el programa de control Tabla B6. 17 y Tabla B6. 18.

Con toda esta información y siguiendo los criterios de funcionamiento anteriormente descritos, el algoritmo del programa de control debe ser capaz de guiar las piezas por la línea para realizar, de la forma más optimizada posible, todas las operaciones correspondientes a cada tipo de pieza.

En el Anexo B6 (Tabla B6. 19, Tabla B6. 20, Tabla B6. 21, Tabla B6. 22, Tabla B6. 23, Tabla B6. 24 y Tabla B6. 25) se puede ver un ejemplo de las plantillas de las listas rellenas con dos piezas de ejemplo en la línea de los ejes. Estas piezas son un eje primario ubicado en el Bloque 7 y un eje secundario ubicado en el pulmón de la máquina TOR1.

3.5.4. Diseño en SolidWorks de la línea productiva de los ejes

Se ha realizado una representación en SolidWorks de la línea de producción para ejes con el único objetivo de poder visualizar fácilmente su estructura y funcionamiento.

En el Anexo B6 se encuentra un conjunto de imágenes de esta representación. Además, los archivos en SolidWorks de la misma, se pueden encontrar en la documentación digital adjunta.

En la Imagen B6. 19 se puede ver una imagen completa de la línea de producción.

La Imagen B6. 20, Imagen B6. 21, Imagen B6. 22 e Imagen B6. 23, corresponden a ampliaciones de los diferentes puntos de la línea.

En la Imagen B6. 24, Imagen B6. 25, Imagen B6. 26 e Imagen B6. 27 se pueden ver bloques de sensores y actuadores de la línea de diferentes tipos con sus componentes señalizados.

La Imagen B6. 28 e Imagen B6. 29 corresponden a un eje primario y secundario colocados sobre sus piezas de soporte. Comentar además que los soportes deben tener una superficie horizontal superior a la de su pieza para evitar que esta pueda colisionar con otras piezas del circuito.

En la Imagen B6. 30, Imagen B6. 31 e Imagen B6. 32 se puede ver el recorrido de unas piezas a través de un bloque tipo B.

En la Imagen B6. 33 se puede ver una máquina, su bloque tipo A y las piezas en su pulmón.

La Imagen B6. 34 corresponde a dos piezas circulando por la salida/entrada de material.



4. Calidad

En todo proceso productivo, se debe establecer diversos controles de calidad para verificar que las unidades fabricadas cumplen las tolerancias de fabricación establecidas en el apartado 2. Rediseño de la caja de cambios.

Implantando estos controles de calidad, se asegura la calidad a lo largo de los procesos y poder evitar un producto final defectuoso.

4.1. Control de calidad

Para este proyecto se van a diferenciar en dos tipos de procesos, los procesos de alto riesgo de rechazo y procesos con bajo riesgo de rechazo.

Para determinar que procesos son de alto riesgo de rechazo, se revisan las hojas de ruta para comprobar aquellos procesos que puedan generar una alta probabilidad de rechazo.

Indicar que establecer que operaciones son de un riesgo y cual, de otros, se debería realizar un estudio estadístico con el rechazo generado.

En la siguiente Tabla 4. 1 se determinan los diferentes procesos que se realizan a lo largo del proyecto y el tipo de control de calidad que se implantaría.

Tabla 4. 1 Riesgo de rechazo según el proceso

CONTROLES DE CALIDAD	
PROCESO	RIESGO DE RECHAZO
Refrentado	Bajo
Cilindrado exterior engranaje	Bajo
Cilindrado exterior ejes	Alto
Cilindrado interior	Alto
Ranurado ejes	Alto
Ranurado engranajes	Bajo
Agujero para contrapunto	Bajo
Dentado	Alto
Laminado	Alto
Rectificado	Bajo

Determinados los diferentes riesgos de los procesos productivos, vamos a concretar la frecuencia de estos controles.

En el caso del riesgo bajo se determina un control de tres piezas al día y en el caso del riesgo alto tres piezas al inicio de turno.

De nuevo comentar, que se plantea un principio de control, con el tiempo y un control estadístico del rechazo se modificaría el plan de control. Además añadir que las piezas solo se pueden llevar a control de calidad desde el pulmón de las máquinas. A pesar de que el sistema está preparado para actuar en caso contrario como se especifica en los criterios de funcionamiento del apartado 3.5.2.

Determinado los diferentes riesgos y sus tiempos de inspección, se diseña los diferentes controles de calidad. Para ello, de la misma manera que en las hojas de ruta, se establece una plantilla (véase Tabla C1. 1 del Anexo C1).

Además, se a concretar un proceso para los diferentes casos:

- Sustitución de herramienta y puesta punto
Después de una puesta a punto y la sustitución de la herramienta se controlan tres piezas.
- Medidas fuera de tolerancia
En el caso de que aparezcan piezas en un control fuera de tolerancias, se debe de ejecutar el siguiente procedimiento:

1 - CORREGIR MÁQUINA
2- SELECCIONAR PIEZAS DESDE ULTIMO CONTROL
3 - VERIFICAR PIEZAS DESDE ÚLTIMO CONTROL
4 - CONTROLAR DOS PIEZAS DESPUES DE PUESTA A PUNTO Y CAMBIO DE HERRAMIENTA

Indicar que, cualquier ajuste, sustitución de herramienta o desviación implicaría un control de tres piezas después de la intervención.

5. Impresión 3D

5.1. Objetivo

Se ha realizado este apartado con el objetivo de materializar una parte de nuestro proyecto, mediante la impresión 3D de una maqueta de la caja de cambios del proyecto original. Así como para profundizar en el campo de la Impresión 3D.

5.2. Impresión 3D

La impresión 3D es un método de fabricación de piezas por adición de material con máquinas de control numérico, mediante tecnología FFF (Fused Filament Fabrication) o también llamada FDM (Fused Deposition Modeling). Para la fabricación de nuestra caja de cambios en plástico, se ha reducido la escala de impresión a $\frac{1}{2}$ del tamaño original.

Este método de fabricación de piezas aún no se ha estandarizado ni recogido en normativas. Consiste en calentar filamento de plástico y extruirlo capa a capa a través boquillas llamadas HotEnds (o Nozzles) sobre una superficie horizontal generando un volumen en vertical.

5.3. Aspectos considerados

A continuación, se recogen una serie de aspectos tenidos en cuenta para la correcta impresión de las piezas de este proyecto.

Limitaciones geométricas de las impresoras 3D

Algunas piezas pueden presentar zonas con dificultades de impresión para la tecnología FFF. Estas dificultades se presentan en las zonas en voladizo o con ángulos negativos y puentes.

- Zonas en voladizo o ángulos negativos

Como se puede apreciar en la Imagen 5. 1, si el ángulo “b” es superior a 65º puede llegar a colapsar el material. Este ángulo puede variar dependiendo de la impresora, la velocidad de impresión y la temperatura del extrusor.

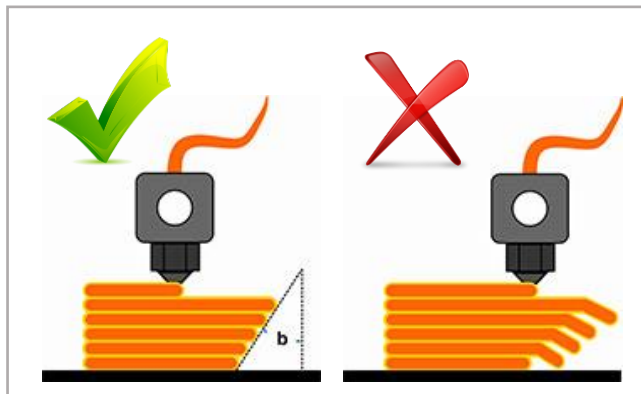


Imagen 5. 1 Zonas en voladizo o ángulos negativos

- Zonas con puentes

Sucede una problemática similar en las zonas con puentes (Imagen 5. 2). Estas zonas no tienen material debajo y al imprimir sobre vacío el filamento puede quedar deformado o colapsarse. Si “H” es demasiado grande, las primeras capas que forman el puente colapsaran por su propio peso.

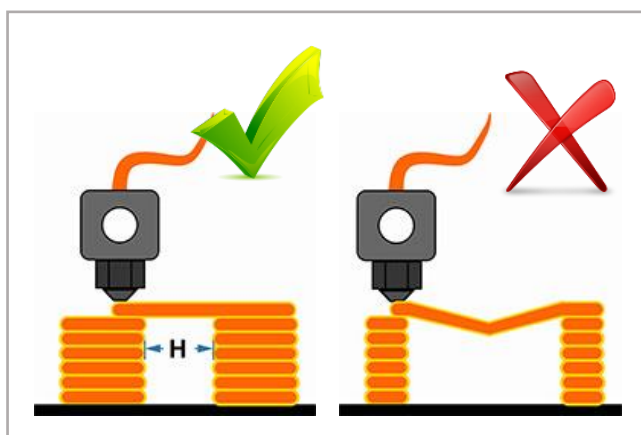


Imagen 5. 2 Zonas con puentes

Para solventar estos problemas se utilizan estructuras de soporte impresas en dichas zonas. Gracias a ellas, se evita imprimir sobre vacío en las zonas descritas anteriormente. En la Imagen D1. 1 del Anexo D1 de pueden observar varios ejemplos de piezas impresas en 3D con estructuras de soporte.

Efecto warpling

Este efecto consiste en que el plástico, el cual se somete a una alta temperatura durante la extrusión, se contrae levemente al enfriarse tras depositarse capa a capa. Esto genera tensiones internas en la pieza, ya que las zonas centrales más cálidas estiran de los laterales más fríos (Imagen 5. 3).

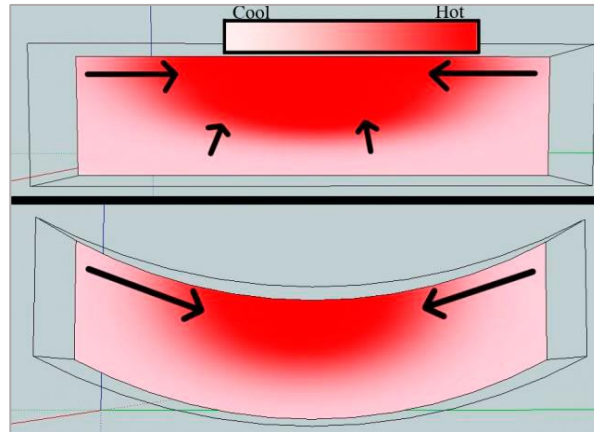


Imagen 5. 3 Representación visual del efecto warping

Como consecuencia de esto, las esquinas de las piezas se comen y el resultado son objetos curvados o completamente deformados. En la Imagen D1. 2 del Anexo D1 se recopilan varios ejemplos de piezas impresas en 3D deformadas a causa del efecto warping. Este efecto se ve acentuado en piezas de gran superficie.

El efecto warping es una consecuencia directa del propio proceso de impresión. A raíz de esto no se puede evitar, pero se puede disminuir su impacto en las piezas impresas mediante la utilización de una cama caliente. De esta forma se mejora la adherencia del material y se minimiza el efecto warping.

Impresora utilizada

Para la realización de este apartado del proyecto se ha utilizado la impresora BCN3D Sigma R16 (Imagen 5. 4). En la

Tabla D1. 1 del Anexo D1 se detallan las características principales de la impresora 3D utilizada.



Imagen 5. 4 Impresora BCN3D Sigma R16

Materiales utilizados

Para la impresión de nuestra caja de cambios se han utilizados dos materiales PLA y PVA, los cuales se distribuyen en bobinas de filamento de 2,85mm de diámetro (Imagen 5. 5).



Imagen 5. 5 Bobinas de 2,85mm de diámetro de PLA y PVA

El PLA (ácido poliláctico) es un termoplástico biodegradable que se obtiene a partir del almidón de maíz, la yuca y la caña de azúcar.

El PVA (alcohol de polivinilo) es un polímero sintético soluble en agua utilizado como material para generar soportes fácilmente retirables en impresoras 3D con arquitectura IDEX (Independent Dual Extruders).

Para conseguir un resultado más realista del mecanismo impreso, se han utilizado bobinas de PLA de varios colores. De esta forma cada pieza impresa es un color similar al de su pieza original, como se detalla en Tabla 5. 1. Asimismo, en la Tabla 5. 6 quedan especificados los materiales empleados en la impresión de las piezas.

Tabla 5. 1 Relación de piezas impresas y materiales utilizados

MATERIALES UTILIZADOS	
MATERIAL	EMPLEADO EN:
PLA Silver	Piezas de acero
PLA Grey	Carcasas y piezas de aluminio
PLA Black	Jaula plástica de los rodamientos
PLA Brown	Horquillas, piezas de latón y otras piezas plásticas

Inicialmente se planteó la posibilidad de utilizar un material traslucido para las carcasas con el objetivo de visualizar el mecanismo interior de la caja de cambios. Se optó por el material ColorFabb - XT CLEAR (Imagen 5. 6) gracias a la recomendación de la empresa TRESDENOU.



Imagen 5. 6 Bobina de 2,85mm de diámetro de ColorFabb - XT CLEAR

Lamentablemente, tras realizar varias pruebas de impresión con dicho material, se descartó su utilización ya que no se alcanzaba el grado de transparencia deseado.

A raíz de esto se ha decidido utilizar PLA Grey para simular el color de aluminio de las carcasas, como se especifica en la tabla Tabla 5. 1. Además, para poder visualizar el mecanismo interior, se han realizado aperturas en lugares estratégicos de las carcasas en los que no se interfiere con la funcionalidad del mecanismo (véase Tabla D2. 4).

Software y formatos de archivo empleados

A continuación, se detallarán los tipos de archivos y los programas utilizados para la realización de este apartado del proyecto.

- Archivos STL:

El formato STL (Standard Triangle Language), cuya extensión es “.stl” es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D. Es el principal tipo de archivo utilizado a partir del cual se generan las instrucciones de control numérico para las impresoras 3D.

- Archivos G-code

El Formato G-code, cuya extensión es “.gcode” es el formato de archivo de control numérico (CN) que contiene las instrucciones para hacer funcionar la impresora 3D.

En la Tabla 5. 2 se resumen todos los programas utilizados durante el proceso de impresión de las piezas en 3D, así como la función para la que se han empleado.

Tabla 5. 2 Programas utilizados en este apartado del proyecto

PROGRAMAS EMPELADOS	
SOFTWARE	UTILIDAD
SolidWorks	Edición de las piezas originales y conversión a formato STL
Meshmixer	Edición de los archivos STL de las piezas
Cura BCN3D (v0.1.4)	Generación del G-code a partir de los archivos STL

5.4. Proceso completo de impresión

A continuación, se detalla el proceso seguido para imprimir las piezas en 3D, desde los archivos originales en SolidWorks hasta el ensamblaje de los componentes una vez ingresos.

1. Edición en SolidWorks

La primera fase del proceso, realizada en SolidWorks, se ha estructurado en dos partes. Por un lado, realizar la conversión de todos los archivos del proyecto original a formato STL. Y, por otro lado, realizar modificaciones necesarias en algunas piezas para facilitar su impresión.

En la Tabla 5. 3 se recopilan los archivos correspondientes a las piezas que han necesitado de algún ajuste en SolidWorks. Asimismo, en el Anexo D2 se detallan dichos ajustes para cada archivo.

Tabla 5. 3 Listado de archivos editados en SolidWorks

ARCHIVOS EDITADOS EN SOLIDWORKS	
ARO_1 1ª y 2ª	P4.a
ARO_1 3ª	P4.b
ARO_1 4ª	P5.a
ARO_1 5ª	P7.a
ARO_1 MA	Tornillos_ P1_P3.b_A
horquilla 1a-2ª	Caja diferencial
horquilla 3a-4a.a	SATELITE
Interior (Rodamiento cónico eje primario 1a)	Interior (Rodamiento cónico corona)
Interior (Rodamiento cónico eje primario MA)	PCarcasa.a
Interior (Rodamiento cónico eje secundario)	PCarcasa.b
P1	carcasa1
P3.b	carcasa2
P3.e	carcasa2_B_tope
P3.f	Carcasa_union

Cabe destacar que una de las modificaciones realizado ha consistido en aumentar o reducir diámetros para facilitar el juego entre piezas móviles una vez ensambladas.

Esto ha sido necesario debido a que las piezas impresas en 3D sufren una pequeña dilatación. Mediante medición en pruebas de impresión, se han constatado los rangos de dilatación para la impresora utilizada descritos en la Tabla 5. 4.

Tabla 5. 4 Rangos de dilatación en las piezas impresas en 3D

DILATACIÓN EN PIEZAS IMPRESAS EN 3D		
ESPACIO AFECTADO	RANGO DE DILATACIÓN	UNIDADES
PLANO DE IMPRESIÓN X – Y	0,16 – 0,18	mm
EJE VERTICAL Z	0,30 – 0,35	mm

Comentar que la dilatación en el eje vertical Z es proporcional a la altura de la pieza. El rango especificado corresponde a piezas de entre 1 y 4 cm de alto (las más altas impresa a excepción de las carcasas). Para piezas más pequeñas esta dilatación deja de ser relevante.

A raíz de estas dilataciones se ha aplicado la modificación descrita con ajustes de 1mm de diámetro, en las piezas especificadas en el Anexo D2, facilitando así el juego entre piezas.

2. Edición en Meshmixer

La segunda fase del proceso ha consistido en escalar todos los archivos STL al 50% de su tamaño original. Para ello se ha utilizado el programa Meshmixer.

Además, en esta fase también se ha editado un conjunto de archivos recogidos en la Tabla 5. 5 con modificaciones más sencillas a realizar directamente sobre un STL que en el software SolidWorks.

En el Anexo D3 se detallan los ajustes realizados en cada uno de ellos. Los cuales han consistido principalmente en la división o unión de piezas en partes para facilitar su impresión, corrección de dimensiones y adición de soportes en lugares específicos.

Tabla 5. 5 Listado de piezas editadas en Meshmixer

ARCHIVOS EDITADOS EN MESHMIXER	
CONO 1ª	horquilla 3a-4a.a
ARO_2 1ª	horquilla 5a-MA
CONO 2ª	P4.c
ARO_2 2ª	P5.a_A
CONO 3ª	P5.b
ARO_2 3ª	PCarcasa.a
Rodamiento cónico eje primario (1a)	desplazable 3a-4ª
Rodamiento cónico eje primario (MA)	desplazable 5a-MA
Rodamiento cónico eje secundario	PLANETARIO
Rodamiento cónico corona	SATELITE
EJE PRIMARIO	barra corta
EJE SECUNDARIO	barra larga
P9.a	P1
caja diferencial_A	P4.b
carcasa2	P5.a_B
ARO_1 1ª y 2ª	P7.a_B
ARO_1 3ª	PASADOR
horquilla 1a-2a	Carcasa_union

3. Cura BCN3D – Conversión a G-code

La tercera fase del proceso se ha fundamentado en seguir una serie de criterios para configurar correctamente los archivos G-code de cada pieza impresa. En el Anexo D4 se puede visualizar un listado de dichos criterios.

Estos criterios han llevado a la creación de varios perfiles de configuraciones de impresión para las diferentes piezas considerando sus formas, materiales utilizados, etc. En la Imagen 5. 7 se puede ver un ejemplo de estas configuraciones.

The image displays two side-by-side screenshots of the Cura BCN3D software interface, showing different configuration tabs.

Left Screenshot (Basic Tab):

- Quality:** Layer height (mm) 0.2, Shell thickness (mm) 0.8, Enable retraction ☒.
- Fill:** Bottom/Top thickness (mm) 0.8, Fill Density (%) 20.
- Speed and Temperature:** Print speed (mm/s) 40, Printing temperature (C) 200, 2nd nozzle temperature (C) 190, Bed temperature (C) 50.
- Support:** Support type Everywhere, Platform adhesion type Brim, Support dual extrusion Second extruder.
- Dual extrusion:** Wipe&prime tower ☐, Ooze shield ☐.
- Filament:** Diameter (mm) 2.9, Diameter2 (mm) 0, Flow (%) 100.

Right Screenshot (Machine Tab):

- Machine:** Nozzle size (mm) 0.4.
- Retraction:** Speed (mm/s) 40, Distance (mm) 4, Dual extrusion switch amount (mm) 9.
- Quality:** Initial layer thickness (mm) 0.25, Initial layer line width (%) 100, Cut off object bottom (mm) 0, Dual extrusion overlap (mm) 0.15.
- Speed:** Travel speed (mm/s) 200, Bottom layer speed (mm/s) 40, Infill speed (mm/s) 60, Top/bottom speed (mm/s) 40, Outer shell speed (mm/s) 35, Inner shell speed (mm/s) 50.
- Cool:** Minimal layer time (sec) 5, Enable cooling fan ☒.

Imagen 5. 7 Ejemplo de los parámetros configurables en el software Cura BCN3D

En la Tabla D4. 1 y la Tabla D4. 2 del Anexo D4 se recoge una explicación de todos los parámetros configurables.

Los perfiles de configuraciones de impresión creados a partir de estos parámetros han sido los siguientes.

- Configuración PLA_PVA HQ: Configuración de alta calidad utilizada en todas las piezas de un color de PLA, que han necesitado material de soporte de PVA. Tabla D4. 3 y Tabla D4. 4.
- Configuración PLA_PLA HQ: Configuración de alta calidad para todos los rodamientos impresos como una única pieza sólida (véase Tabla D3. 1). Estas piezas se han impreso en dos colores de PLA. Tabla D4. 5 y Tabla D4. 6.
- Configuración PLA HQ: Configuración de alta calidad para todas las piezas de un solo color de PLA que no han necesitado material de soporte de PVA. Tabla D4. 7 y Tabla D4. 8.
- Configuración PLA HQ 100: Configuración de alta calidad para todas las piezas de un solo color de PLA que no han necesitado material de soporte de PVA y se han impreso macizas. Tabla D4. 9 y Tabla D4. 10.
- Configuración PLA_PVA STD: Configuración de calidad estándar para las piezas que componen las carcasas de la caja de cambios. Estas piezas se han impreso con un solo color de PLA y han necesitado material de soporte de PVA.
Dado que estas son las piezas más voluminosas, se ha reducido la calidad de estas para ahorrar tiempo. Reduciendo así, el tiempo de impresión de la pieza más voluminosa de 68h a 24h aproximadamente. Tabla D4. 11 y Tabla D4. 12.

Comentar además que, los rodamientos también han necesitado soportes, los cuales se han impreso con el PLA del extrusor derecho. Estos soportes no se han podido imprimir en PVA dado que, para estas piezas, los dos HotEnds tenían bobinas de PLA.

4. Impresión de las piezas

La cuarta fase del proceso ha consistido en llevar a impresión todos los G-code de las diferentes piezas, cada uno con su perfil de configuración correspondiente.

Se ha optado por imprimir, como norma general, todas las piezas por separado en cambio de realizar impresiones de múltiples piezas. Esto se ha hecho para minimizar el efecto warping (verse Imagen 5. 3) y para evitar el desperdicio de un conjunto de piezas en caso de que se produjese algún problema durante la impresión.

Se ha decidido realizar la impresión de un total de tres maquetas de la caja de cambios. Una a entregar junto el proyecto y dos para los autores del mismo.

Esto ha conllevado la impresión de 87 piezas para cada maqueta y ha supuesto la realización de un total de 261 piezas. Cabe destacar que no se han impreso todas las piezas del proyecto original. Algunas han sido omitidas dado que suponían un estorbo al ensamblaje más que una ayuda al correcto funcionamiento del mecanismo. Dichas piezas quedan recogidas en la Tabla D5. 1 del Anexo D5.

En la Tabla 5. 6 se detalla, a modo de resumen, la cantidad total de bobinas de filamento necesarias para la impresión de las tres maquetas de la caja de cambios.

Tabla 5. 6 Cantidad de bobinas de filamento empleadas

BOBINAS DE FILAMENTO		
MATERIAL	CANTIDAD DE BOBINAS ADQUIRIDAS	PESO DE LA BOBINA
PLA SILVER	2	1 kg
PLA GREY	2	1 kg
PLA BLACK	1	1 kg
PLA BROWN	1	1 kg
PVA	2	0,5 kg

En el Anexo D5 se puede ver el desglose de los materiales utilizados para cada pieza impresa distribuidas según su perfil de configuración. Además, también se recogen otros datos como las copias impresas de cada pieza para una caja de cambios, el tiempo estimado de impresión y la cantidad de filamento empleado en cada una de ellas. Todos estos datos quedan recogidos en la Tabla D5. 2, Tabla D5. 3, Tabla D5. 4, Tabla D5. 5 y Tabla D5. 6.

Cabe señalar que este tiempo es el estimado por el software Cura BCN3D, el cual suele aumentar alrededor de un 15% en la impresora debido a los procesos de calentamiento de los extrusores y del cambio de un HotEnd al otro.

Comentar también que, el hecho de haber impreso tres copias de la maqueta, ha permitido realizar un pequeño estudio para determinar el porcentaje aproximado de rechazo de las piezas impresas con la impresora utilizada. Asimismo, la impresión de este volumen de piezas ha permitido elaborar un listado de los posibles fallos que se pueden dar durante la impresión y como solucionar estos. Dicho estudio y listado quedan detallados en el Anexo D5 (véase Tabla D5. 7).

A continuación, se detalla una breve descripción de los pasos seguidos durante la impresión de cada G-code:

1. Colocar las bobinas de filamento necesarias para esa pieza siguiendo las instrucciones del panel de control de la impresora.
2. Realizar la calibración de la impresora si es necesario y limpiar extrusores y cama de impresión.
3. Aplicar laca de impresión 3D sobre la plataforma para mejorar la adherencia.
4. Imprimir la pieza.
5. Realizar controles visuales periódicos del correcto funcionamiento de la máquina durante el proceso de impresión.

En el Anexo D5 también se puede encontrar una recopilación de varias imágenes tomadas durante el proceso de impresión (Imagen D5. 1, Imagen D5. 2 e Imagen D5. 3).

5. Ensamblaje de la maqueta

La cuarta quinta y última fase del proceso ha sido el ensamblaje de las diferentes piezas impresas para imprimir cada una de las tres maquetas respectivamente.

Previamente, ha sido necesaria una adecuación de las piezas para poder ser ensambladas. Dicha adecuación queda descrita a continuación.

- Se han retirado los soportes de PVA de todas las piezas. Intentado retirar manualmente, con la ayuda de cúter y alicates, todo el PVA posible sin dañar las piezas. La parte restante de PVA se ha eliminado dejando que este se disolviese al sumergir las piezas en agua a temperatura ambiente. Dependiendo del tamaño de la pieza, ha sido necesario sumergirlas en agua en intervalos de entre 20 minutos y 2h.
Una vez disuelto el PVA, se han secado las piezas con ayuda de papel y un secador de pelo. Asimismo, se han retirado los restos de PVA ubicados en orificios y rendijas de las piezas con la ayuda de unas pinzas (Imagen D6. 1).
- Se han pulido y lijado las piezas en los puntos donde han quedado rebabas o material sobrante de la impresión. Como por ejemplo los bordes de impresión (Imagen D6. 2).
- Se ha utilizado pegamento para plásticos para unir las piezas impresas en partes descritas en la Modificación 2 del Anexo D3 (Imagen D6. 3).

Una vez adecuadas las piezas se ha procedido a su ensamblaje siguiendo como ejemplo los ensamblajes y subensamblajes descritos en el Anexo A3.

Comentar que ha sido necesaria la utilización de un martillo para colocar en su posición los engranajes y piezas diseñador originalmente para mantener una relación de apriete.

Para unir los diferentes conjuntos de piezas que forman la caja de cambios, se han utilizado una serie de tornillos y tuercas de la mitad del tamaño de los descritos en el proyecto original. En la Tabla D6. 1, Tabla D6. 2 y Tabla D6. 3 del Anexo D6 se especifican cuáles y que cantidad ha sido utilizada en las diferentes partes del ensamblaje de una maqueta.

En el Anexo D6 se recoge un conjunto de imágenes del proceso de ensamblado de las maquetas (Imagen D6. 4, Imagen D6. 5, Imagen D6. 6 e Imagen D6. 7).

Conclusiones

El objetivo principal planteado al inicio de éste proyecto consistía en la optimización del proceso productivo de unas líneas de fabricación obsoletas y sin automatizar.

Después de todos los estudios realizados durante el proyecto, se ha podido determinar una redistribución automatizada de las líneas obsoletas. Como resultado, se han optimizado los procesos logrando además, una reducción del 32,9% en la maquinaria necesaria con el ahorro que esto conlleva. Asimismo, se ha logrado aumentar en un 55% la producción, alcanzando las 400 unidades diarias. Con lo que, si se prevé un coste medio PVP de 60€ por pieza, con esta automatización se generarían 336.000€ diariamente. Lo que supone un incremento de 150.200€ respecto al sistema antiguo.

Cabe destacar que, además de una considerable optimización del proceso, con esta automatización las líneas pasarían a ser flexibles. Y como consecuencia, se podría fabricar más de un único modelo de caja de cambios en las mismas líneas.

Por otro lado, este proyecto ha servido para consolidar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Como por ejemplo, la selección de materiales o el funcionamiento y programación de las máquinas de control numérico, así como la automatización en general.

Con este trabajo final de carrera también se ha logrado profundizar considerablemente en la impresión 3D, dada la cantidad de horas necesarias para su realización. Como consecuencia de esto, se ha obtenido una gran cantidad de experiencia en este campo con la cual comprender mejor este método de fabricación de piezas. Así como para poder abarcar con mayor facilidad cualquier proyecto de diseño enfocado a ser impreso en 3D.

Finalmente, cabe destacar que ha sido necesaria una gran cantidad de esfuerzo y dedicación para la realización de este proyecto. Así pues, sería necesaria la coordinación de uno o varios equipos de ingenieros para la creación de un proyecto real de esta magnitud. El cual englobase el estudio previo aquí realizado, además de todo el contenido adicional necesario para realizar la automatización de un sistema de producción real. Esto es debido a la necesidad de integrar en el proyecto conocimientos de varios ámbitos como la mecánica, los materiales, la electricidad, la electrónica y la programación entre otros.

Presupuesto

Tal y como se indica, la base del proyecto es la de modificar las líneas existentes de producción para reducir los costes de mantenimiento y aumentar la producción un 55% manteniendo los centros de mecanizado y las estructuras de unión existentes.

Para ello se determina un nuevo proceso productivo y unas distribuciones nuevas detalladas en los apartados anteriores.

Así pues, el presupuesto va a contemplar los sensores y actuadores necesarios para la automatización y la mano de obra de las diferentes líneas.

Se presupone que, el traslado de los centros de mecanizado y la adaptación de los raíles de unión se realizarán por 10 operarios durante 5 o 6 meses.

Así pues, el coste de la elaboración de este proyecto es de 24.000€ y el coste de la obra ascendería a 781.978,78 €.

El desglose de todos los términos queda detallado en el Anexo E.

Bibliografía

- Granta Design (2010). *Material and process selection charts*. Cambridge.
- *European Steel and Alloy Grades / Numbers Searchable Database. 18CrNiMo7-6 (1.6587)*. Recuperado el 30 de septiembre de 2017 de http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=245
- *TECHNICAL CARD GRUPPO LUCEFIN* (2013). Recuperado el 30 de septiembre de 2017 de http://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/18crnimo76en.pdf
- SANDVIK. *Categoría material según ISO*. Recuperado el 10 de octubre de 2017 de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/introduction/pages/default.aspx>
- SANDVIK (2012). *Herramientas de corte de Sandvik Coromant*.
- *Ford Focus Coupé Trend 2.0 (2008-2010)*. Recuperado el 6 de diciembre de 2017 de <https://www.km77.com/coches/ford/focus/2008/coupe/trend/focus-coupe-trend-20/datos>
- MORALES, J. (2013). *Ejemplo de cálculo de una capacidad de producción en estaciones de proceso*. Recuperado el 15 de noviembre de 2017 de <https://matematicasempresariales.wordpress.com/2013/11/23/ejemplo-de-calculo-de-una-capacidad-de-produccion-en-estaciones-de-proceso/>
- *Fabricantes de sensores y actuadores*. Recuperado el 23 de diciembre de 2017 de <http://www.omron.es/>
<http://www.schneider-electric.com/>
<http://www.airtacperu.com.pe/>
<http://www.festo-didactic.com/>
<http://www.dx.com/es>
<http://www.cognex.com/>
<https://www.bannerengineering.com/be/en.html>
<http://www.festo.com/es>
<http://www.motelca.es/>
<http://rymeautomotive.com/>
- AMPUDIA, M. (2016). *Limitaciones geométricas en impresión 3D*. Recuperado el 12 de septiembre de 2017 de <http://www.dima3d.com/limitaciones-geometricas-en-impresion-3d/>

- *Warping Fundamentals*. (2010). Recuperado el 12 de septiembre de 2017 de <https://capolight.wordpress.com/2010/07/25/warping-fundamentals/>
- *Warping – Large objects and the heated print bed*. (2010). Recuperado el 12 de septiembre de 2017 de <https://capolight.wordpress.com/2010/07/26/warping-large-objects-and-the-heated-print-bed/>
- *BCN3D Sigma Release 2017 - BCN3D Technologies*. Recuperado el 16 de septiembre de 2017 de <https://www.bcn3dtechnologies.com/es/3d-printer/bcn3d-sigma/>
- TRESDENOU. (2017). *Bobinas de filamento para impresoras 3D*. Recuperado el 18 de septiembre de 2017 de
<http://tresdenou.com/es/502-pla-3-mm-bcn3d-purple.html>
<http://tresdenou.com/es/83-pva-3-mm-05kg.html>
<http://tresdenou.com/es/432-colorfabb-xt-3-mm-750-grs-clear.html>

Autoría del proyecto final de grado

El proyecto *“Rediseño de una caja de cambios y automatización de su línea productiva”* ha sido realizado por Alex Bayón Sánchez y José Santiago Alba aportando cada uno de ellos el 50% del trabajo.

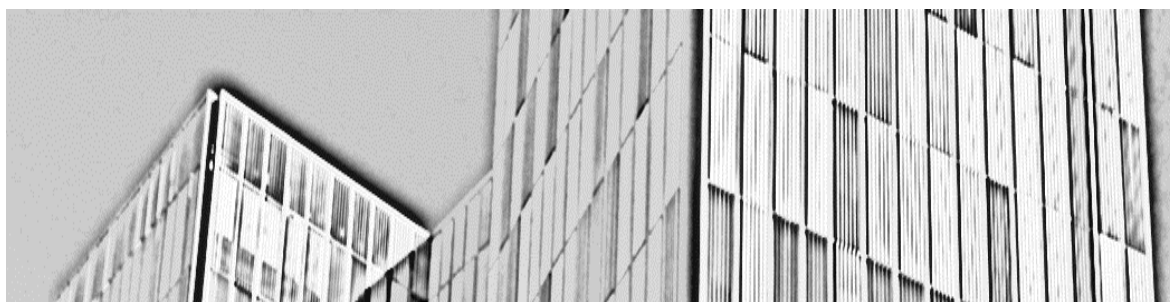
Alex Bayón Sánchez

José Santiago Alba

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

REDISEÑO DE UNA CAJA DE CAMBIOS Y AUTOMATIZACIÓN DE SU LINEA PRODUCTIVA



Anexos

Anexo 0

En este Anexo únicamente se detalla la información específica de los requerimientos previos.

- Características necesarias para la realización del proyecto del vehículo Ford Focus.
- Características de las líneas obsoletas

Tabla 0. 1 Características necesarias del vehículo Ford Focus

CARACTERISTICAS FORD FOCUS	
Fabricante	Ford
Modelo	Focus Coupé Trend
Años de fabricación	2008 – 2010
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	145 CV / 107 kW
Par máximo	185 Nm
Revoluciones del par máximo	4500 rpm
N.º de cilindros	4
Cilindrada	1999 cm ³
Tracción	Delantera
Tipo de caja de cambios	Manual
N.º de velocidades	5 velocidades

Tabla 0. 2 Características de las líneas productivas obsoletas

LINEAS PRODUCTIVAS OBSOLETAS	
N.º total de máquinas	76
N.º líneas productivas	14
Formato de producción	Una línea por componente
Producción máxima (jornada)	220

Anexo A

En el Anexo A se incluirá la siguiente información:

- A1. Imágenes reales de la caja de cambios
- A2. Comparativa de las piezas CAD con las reales
- A3. Ensamblajes y subensamblajes
- A4. Explosionados
- A5. Estudios realizados en el trabajo original
- A6. Tolerancias
- A7. Ajustes
- A8. Selección del material
- A9. Planos de las piezas trabajadas en el proyecto

A1. Imágenes reales de la caja de cambios



Imagen A1. 1 Caja de cambios montada



Imagen A1. 2 Paquetería interior (conjuntos eje primario y secundario)

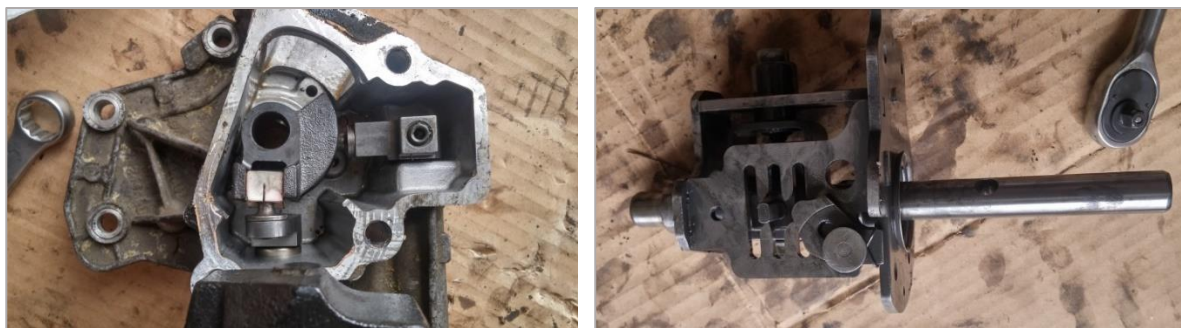


Imagen A1. 3 Conjunto palanca de cambio



Imagen A1. 4 Despiece de la caja de cambios

A2. Comparativa de las piezas CAD con las reales

Bujes, desplazables y horquillas

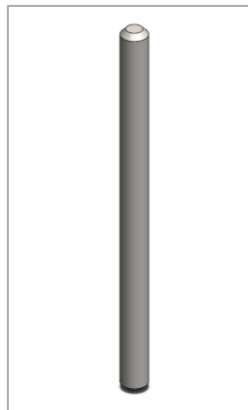


Imagen A2. 1 Comparativa barra corta

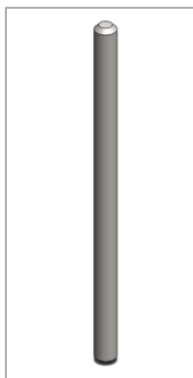


Imagen A2. 2 Comparativa barra larga

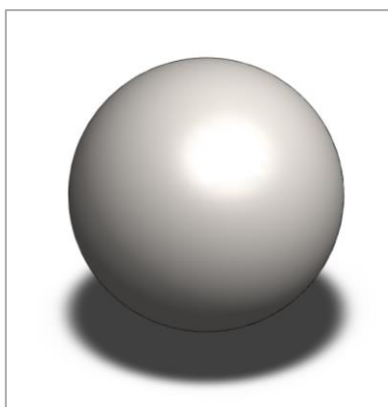


Imagen A2. 3 Comparativa bola bujes

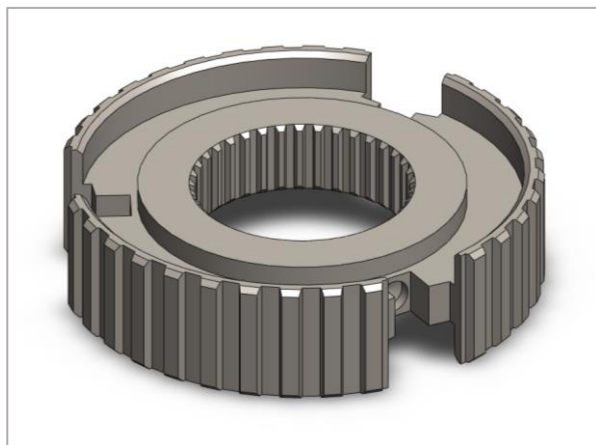


Imagen A2. 4 Comparativa buje 1ª – 2ª vel.

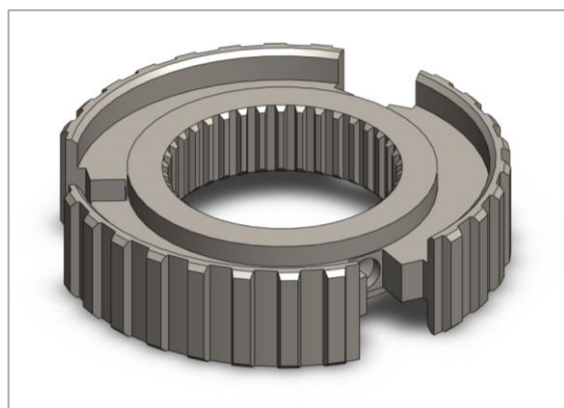


Imagen A2. 5 Comparativa buje 3ª – 4ª vel.

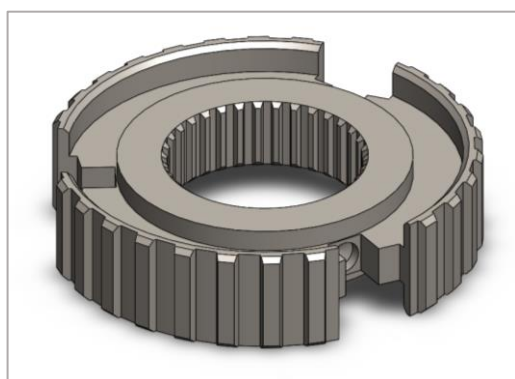


Imagen A2. 6 Comparativa buje 5ª – Marcha atrás

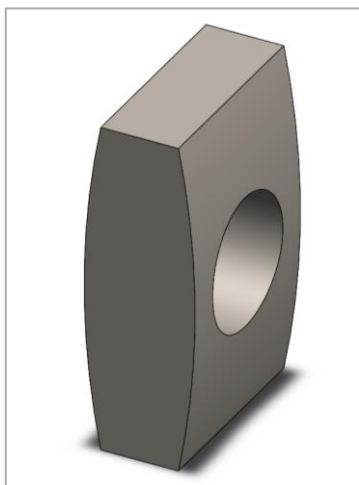


Imagen A2. 7 Comparativa chaveta

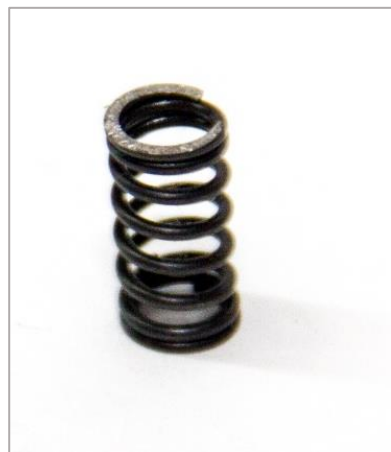
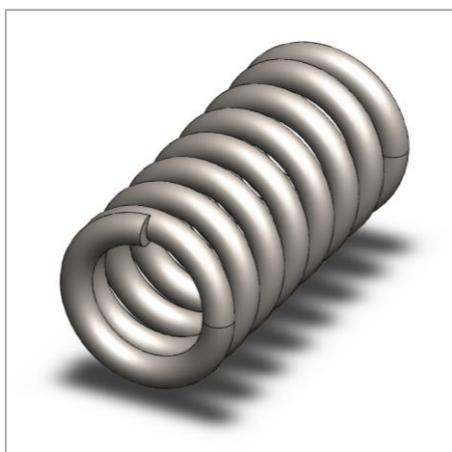


Imagen A2. 8 Comparativa muelle bujes

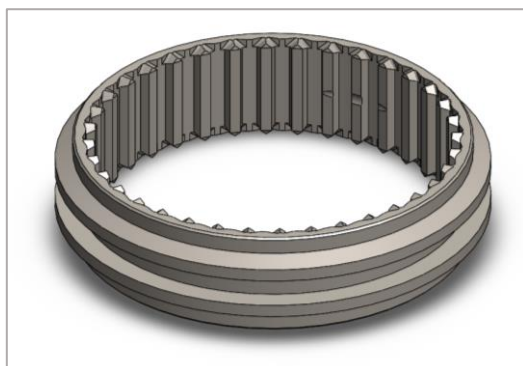


Imagen A2. 9 Comparativa desplazable 1ª – 2ª vel.

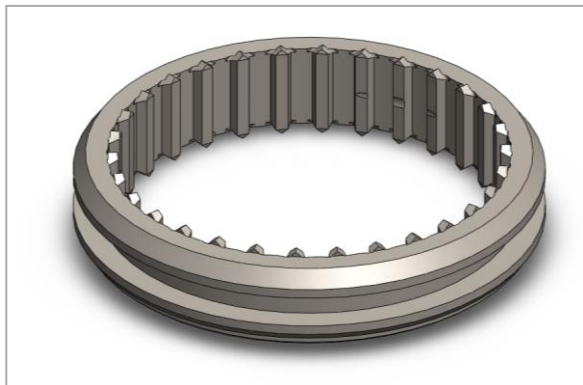


Imagen A2. 10 Comparativa desplazable 3ª – 4ª

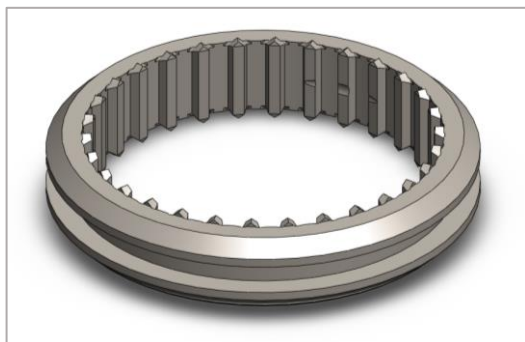


Imagen A2. 11 Comparativa desplazable 5ª – Marcha atrás

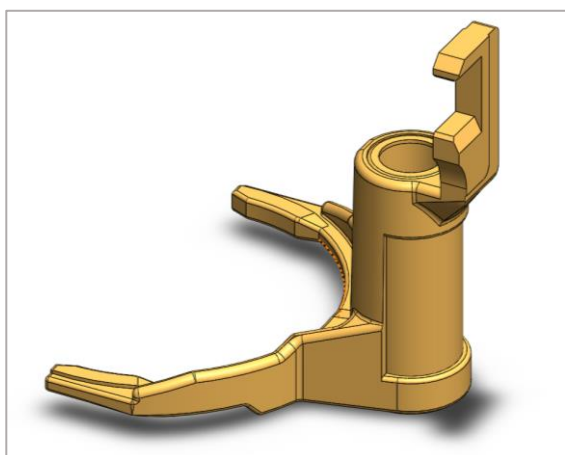


Imagen A2. 12 Comparativa horquilla de 1ª -2ª vel.

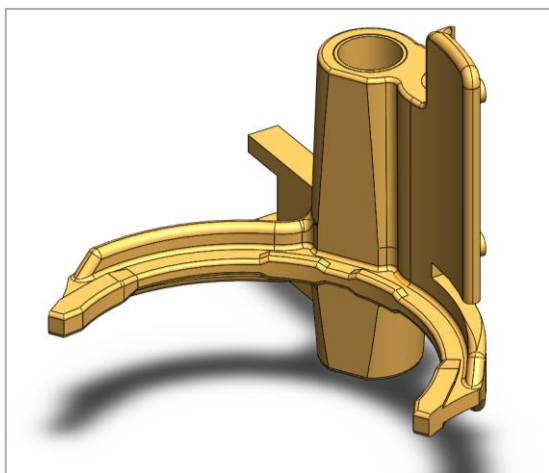


Imagen A2. 13 Comparativa horquilla 3ª – 4ª vel. (A)

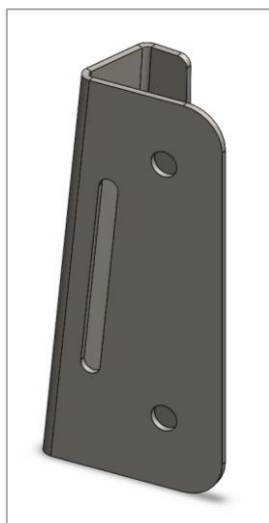


Imagen A2. 14 Comparativa horquilla 3ª – 4ª vel. (B)

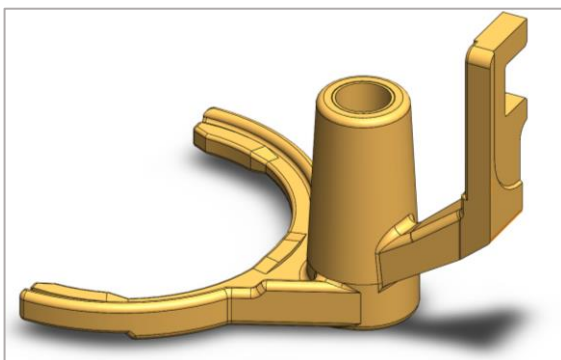
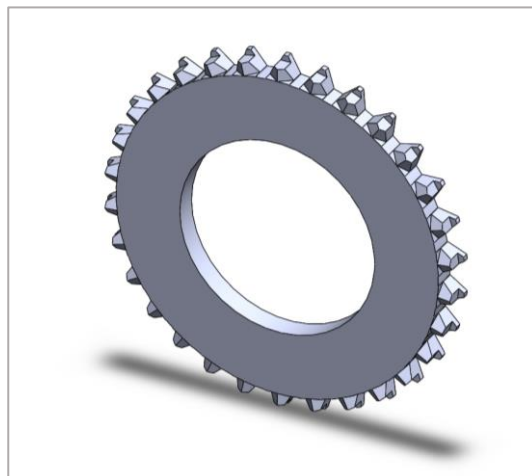
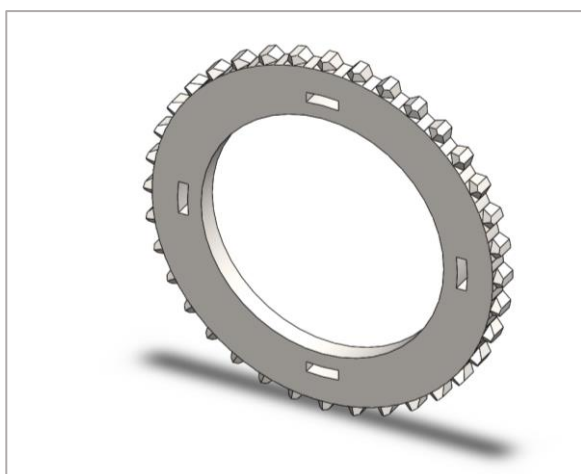


Imagen A2. 15 Comparativa horquilla 5ª – Marcha atrás

Cono**Imagen A2. 16** Cono patrón (parametrizado)**Imagen A2. 17** Comparativa cono 1ª vel.**Imagen A2. 18** Comparativa cono 2ª vel.

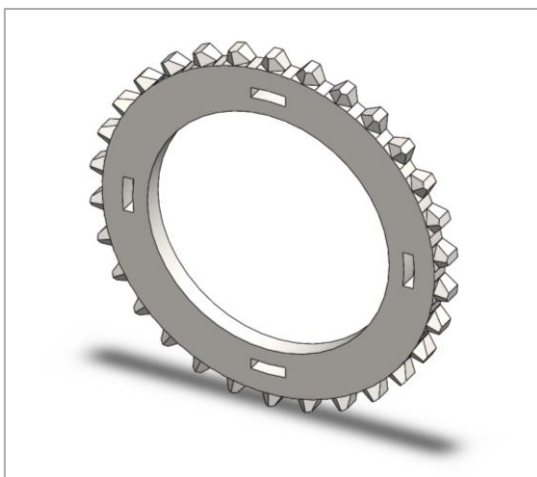


Imagen A2. 19 Comparativa cono 3ª vel.



Imagen A2. 20 Comparativa cono 4ª vel.

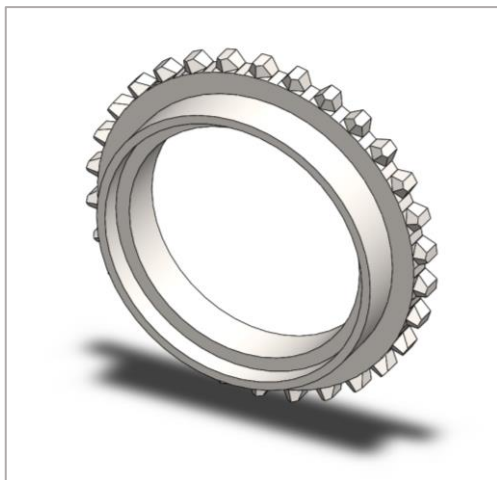


Imagen A2. 21 Comparativa cono 5ª vel.

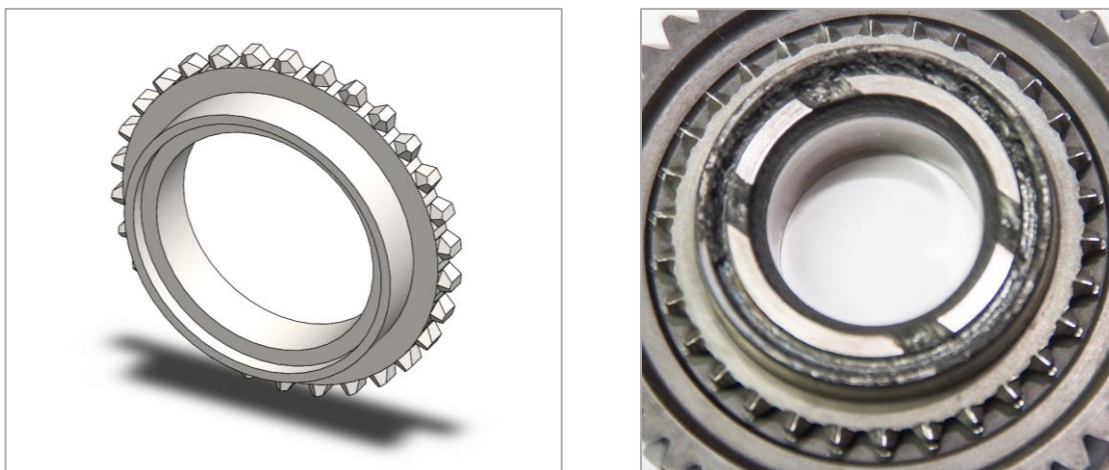


Imagen A2. 22 Comparativa cono Marcha atrás

Conjunto corona – caja diferencial



Imagen A2. 23 Comparativa chapa satélite



Imagen A2. 24 Comparativa chapa planetario

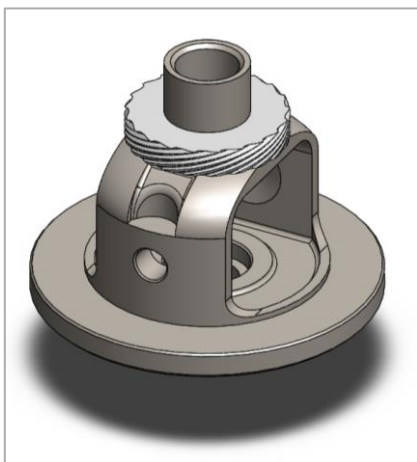


Imagen A2. 25 Comparativa caja diferencial

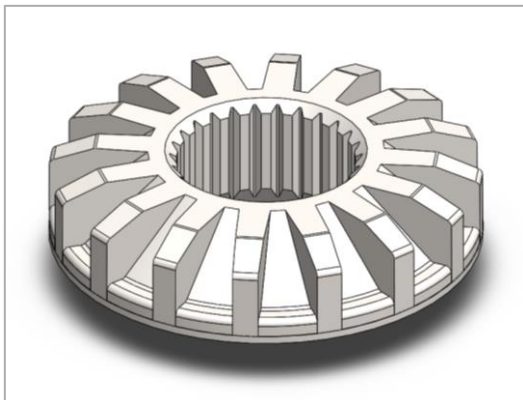


Imagen A2. 26 Comparativa planetario

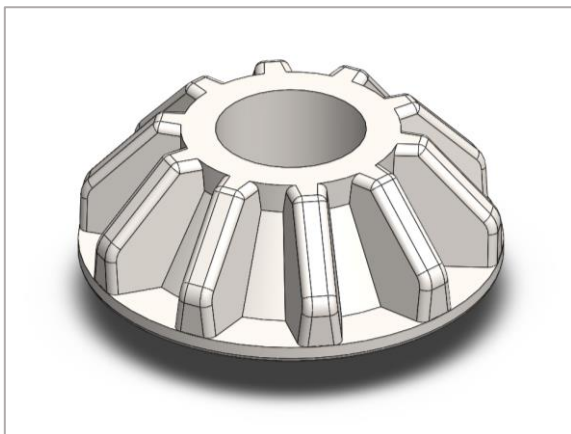


Imagen A2. 27 Comparativa satélite

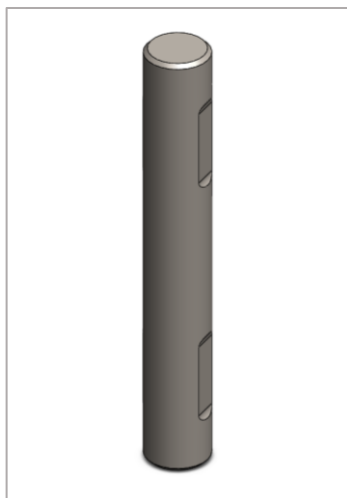


Imagen A2. 28 Comparativa pasador

Engranajes

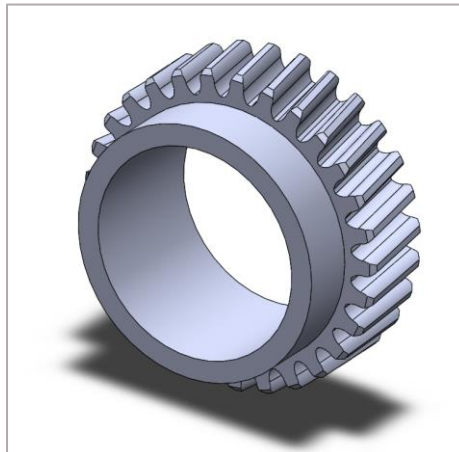
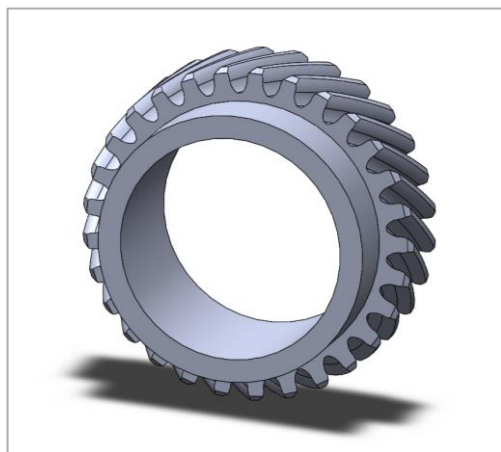


Imagen A2. 29 Patrones de engranajes (imagen de la izquierda patrón a derechas, imagen derecha patrón a izquierdas)



Imagen A2. 30 Comparativa 1ª cono

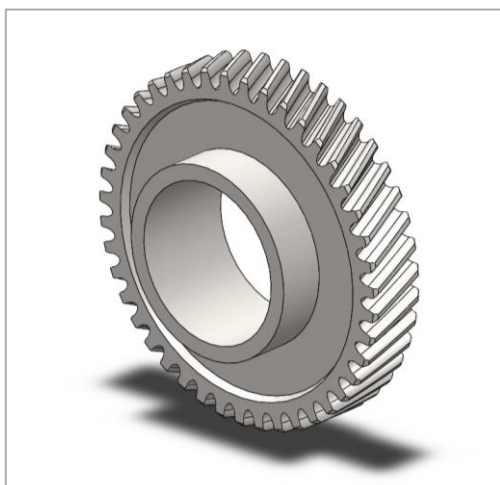


Imagen A2. 31 Comparativa 2ª cono

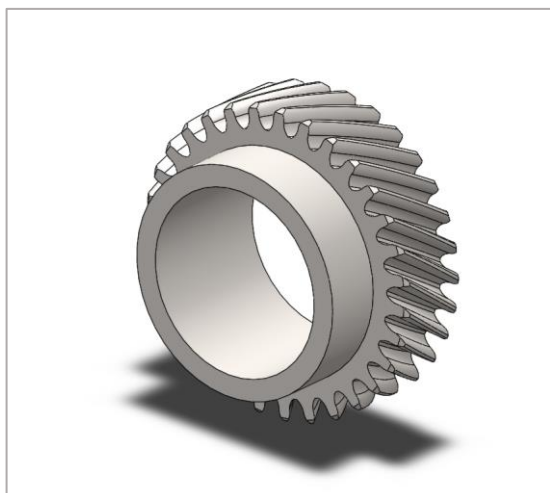


Imagen A2. 32 Comparativa 3ª cono



Imagen A2. 33 Comparativa 4ª cono

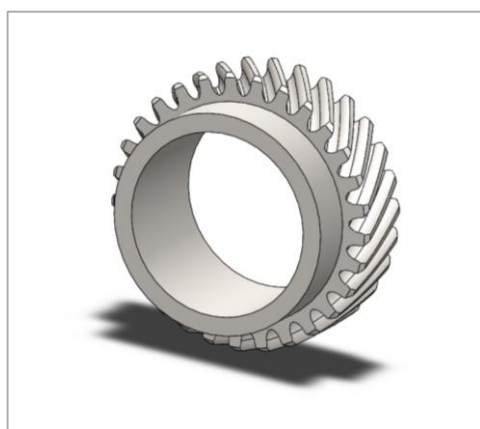


Imagen A2. 34 Comparativa 5ª cono



Imagen A2. 35 Comparativa marcha atrás cono



Imagen A2. 36 Comparativa 5ª plana

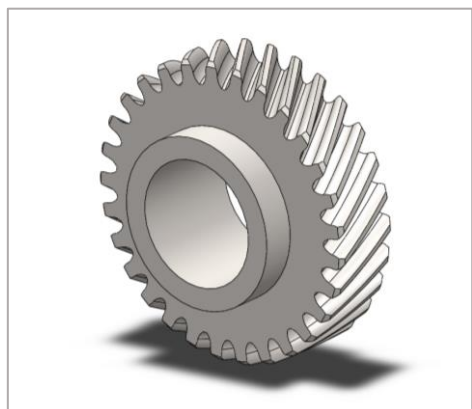


Imagen A2. 37 Comparativa marcha atrás auxiliar (plana)

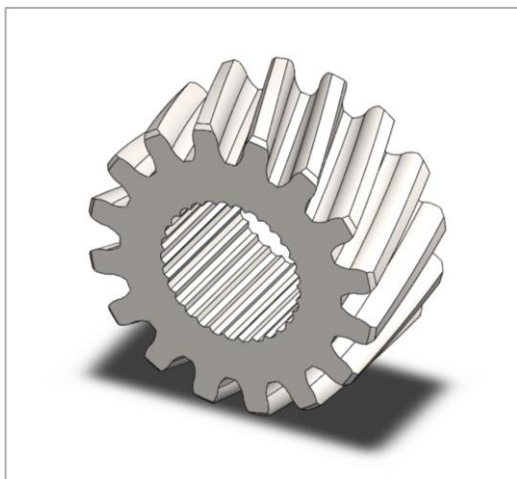


Imagen A2. 38 Comparativa engranaje secundario



Imagen A2. 39 Comparativa corona

Sincronizadores

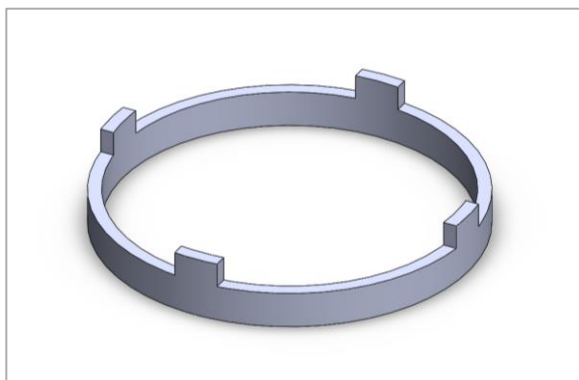


Imagen A2. 40 Patrón aro sincronizador 2

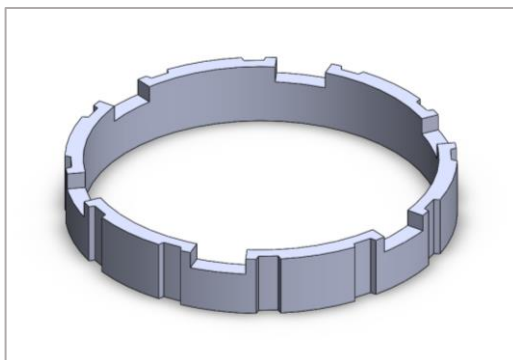


Imagen A2. 41 Patrón aro sincronizador 3

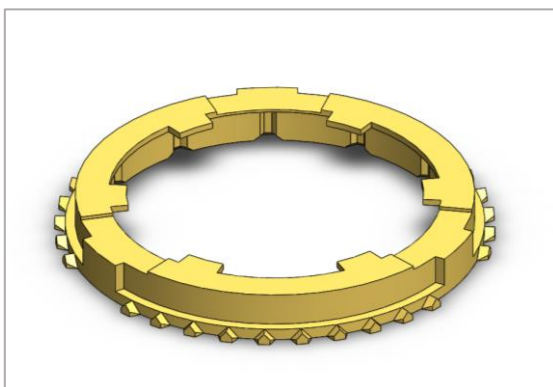


Imagen A2. 42 Comparativa anillo sincronizador 1 de 1ª -y 2ª vel.

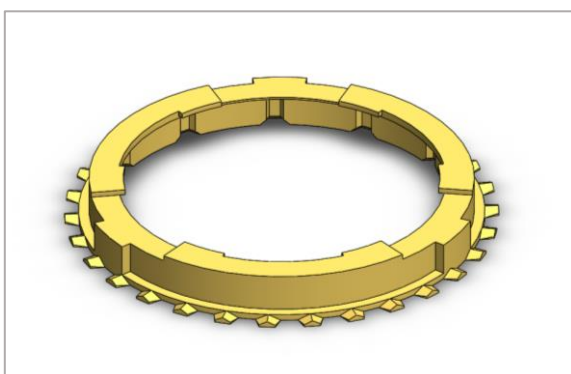


Imagen A2. 43 Comparativa anillo sincronizador 1 de 3ª vel.

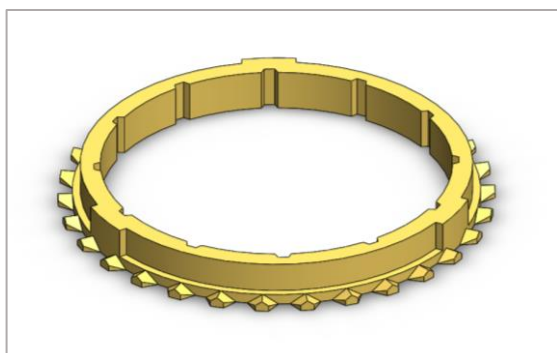


Imagen A2. 44 Comparativa anillo sincronizador 1 de 4ª vel.



Imagen A2. 45 Comparativa anillo sincronizador 1 de 5ª vel.



Imagen A2. 46 Comparativa anillo sincronizador 1 de marcha atrás

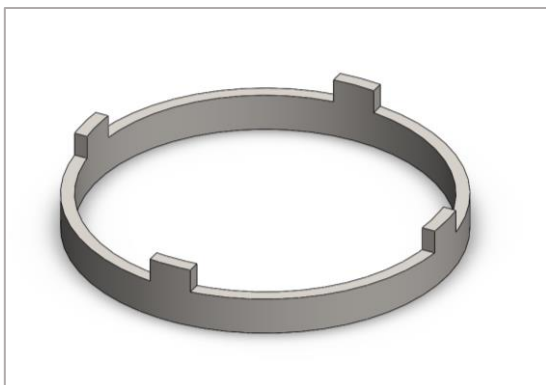


Imagen A2. 47 Comparativa anillo sincronizador 2 de 1ª vel.

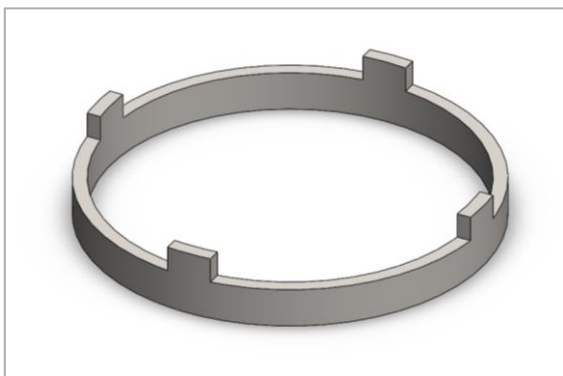


Imagen A2. 48 Comparativa anillo sincronizador 2 de 2ª vel.

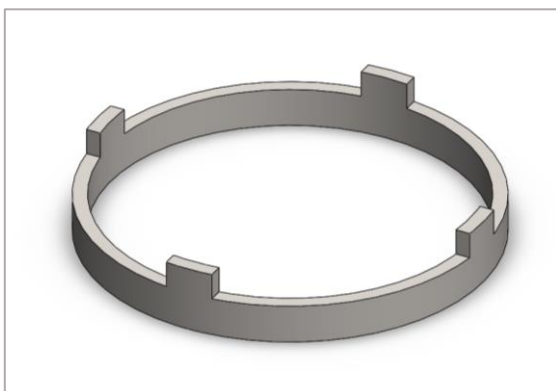


Imagen A2. 49 Comparativa anillo sincronizador 2 de 3ª vel.

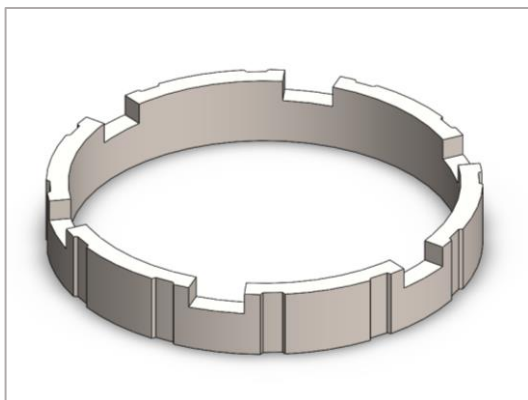


Imagen A2. 50 Comparativa anillo sincronizador 3 de 1ª vel.

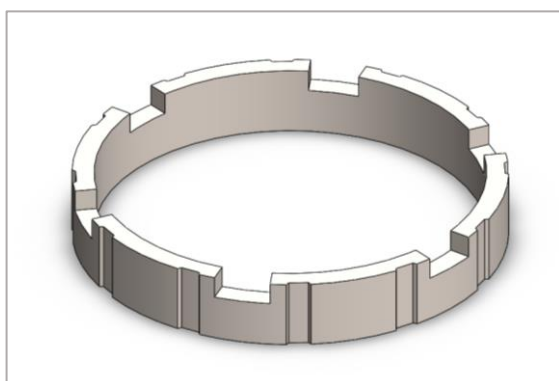


Imagen A2. 51 Comparativa anillo sincronizador 3 de 2ª vel.

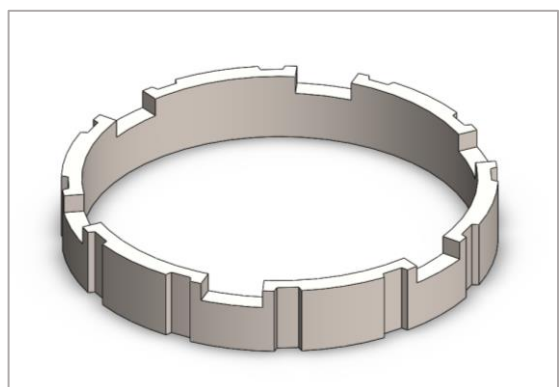


Imagen A2. 52 Comparativa anillo sincronizador 3 de 3ª vel.

Ejes

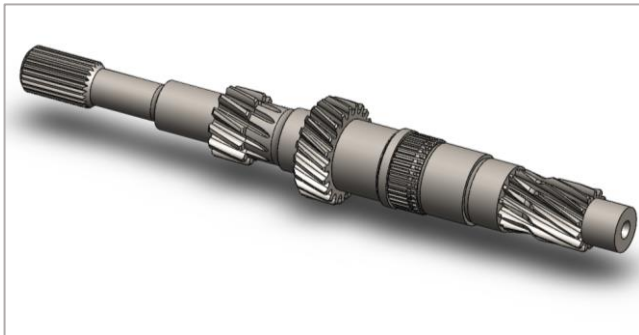


Imagen A2. 53 Comparativa eje primario

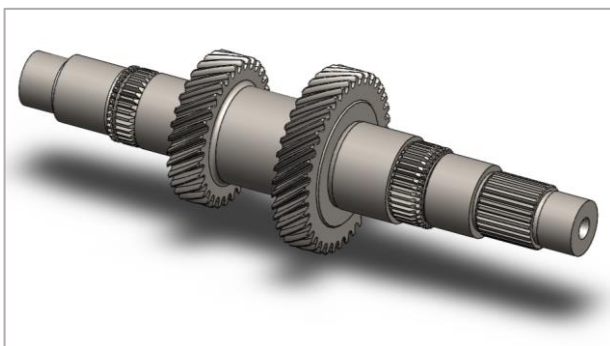


Imagen A2. 54 Comparativa eje secundario

Exterior

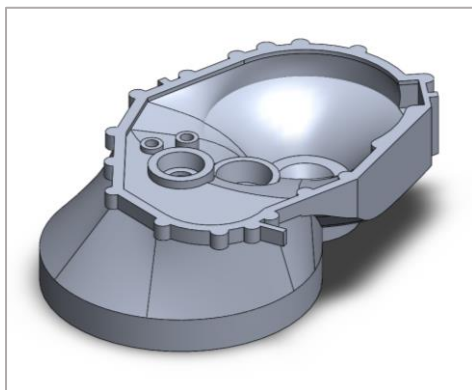


Imagen A2. 55 Comparativa carcasa

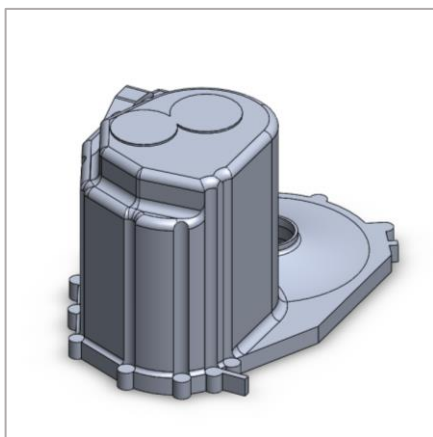


Imagen A2. 56 Comparativa caja

Palanca

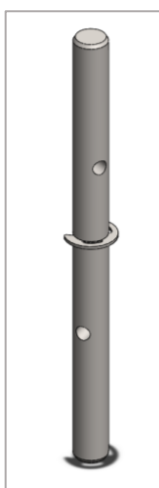


Imagen A2. 57 Comparativa P1

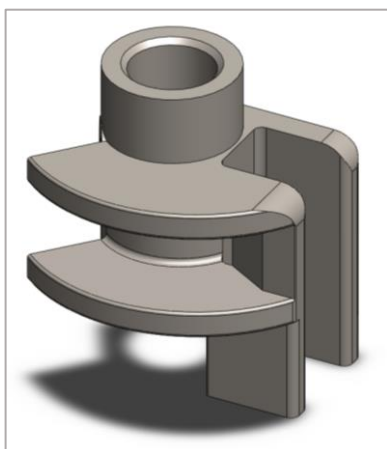


Imagen A2. 58 Comparativa P2

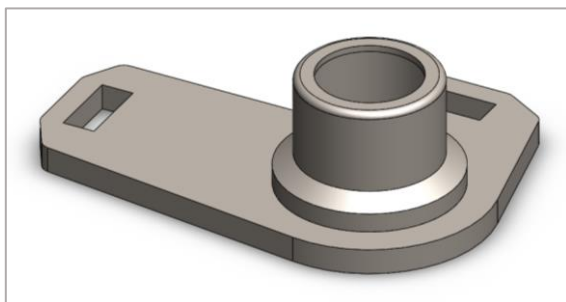


Imagen A2. 59 Comparativa P3.a

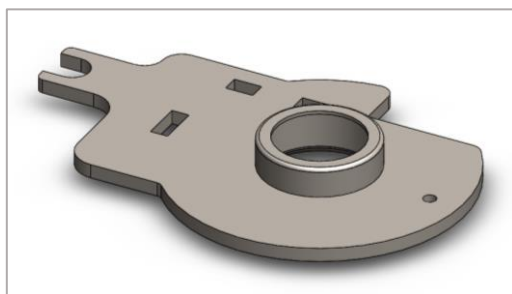


Imagen A2. 60 Comparativa P3.b



Imagen A2. 61 Comparativa P3.c

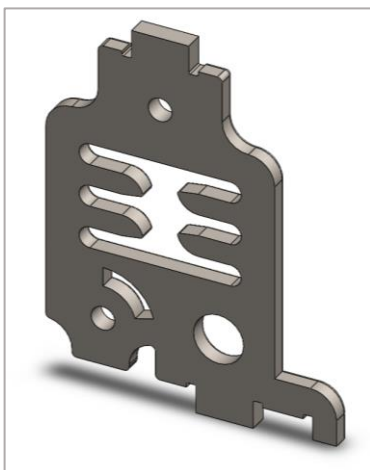


Imagen A2. 62 Comparativa P3.d

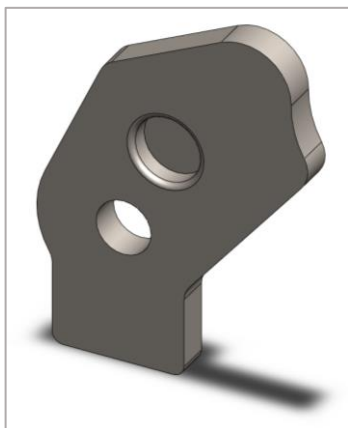


Imagen A2. 63 Comparativa P3.e

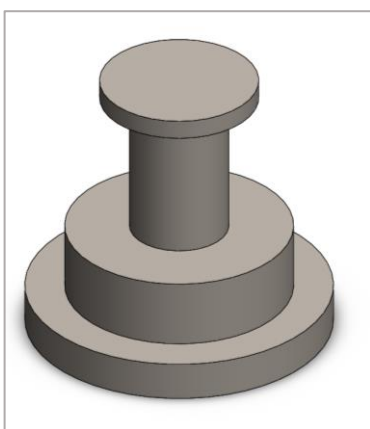


Imagen A2. 64 Comparativa P3.f



Imagen A2. 65 Detalle P3.g

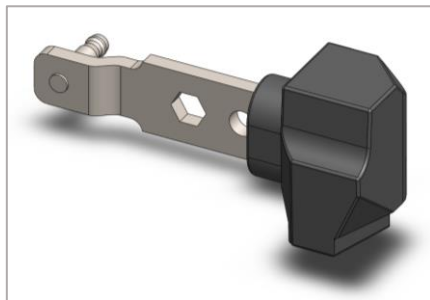


Imagen A2. 66 Comparativa P4.a

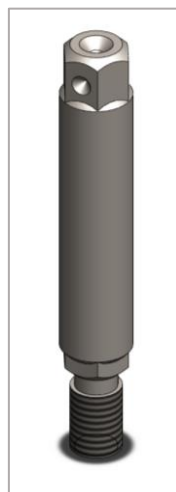


Imagen A2. 67 Comparativa P4.b

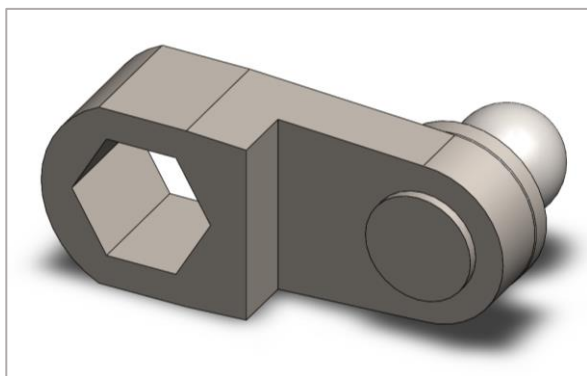


Imagen A2. 68 Comparativa P4.c

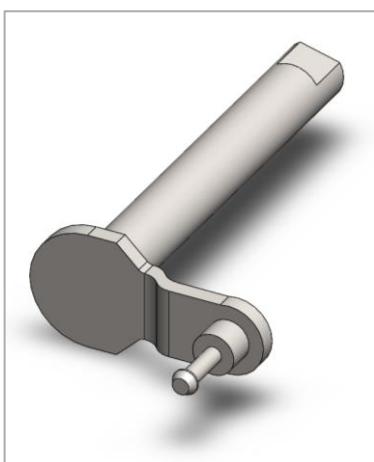


Imagen A2. 69 Comparativa P5.a

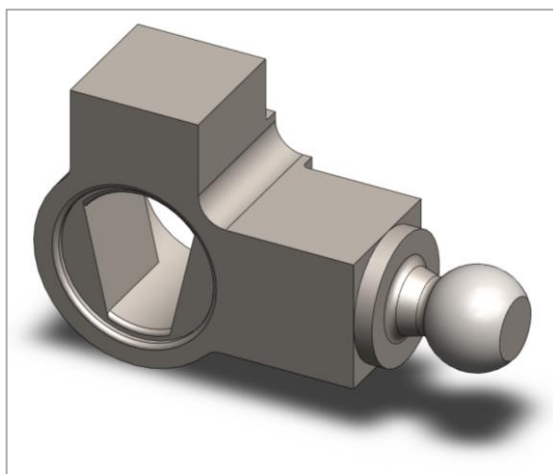


Imagen A2. 70 Comparativa P5.b

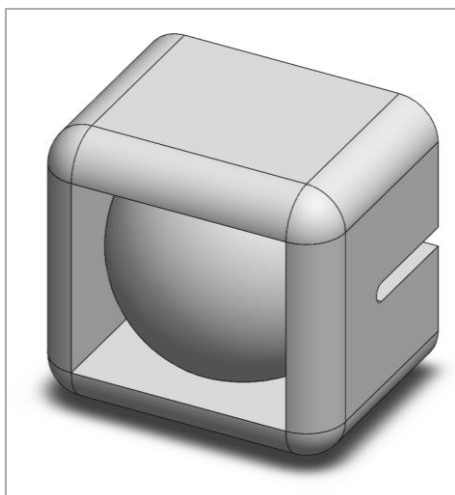


Imagen A2. 71 Comparativa P6

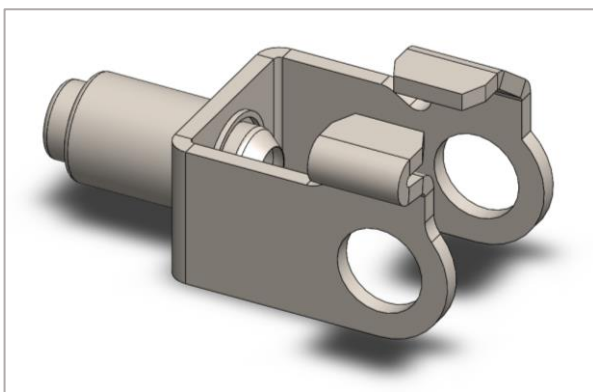


Imagen A2. 72 Comparativa P7.a

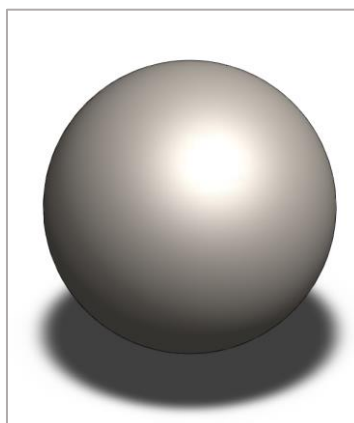


Imagen A2. 73 Detalle P7.b

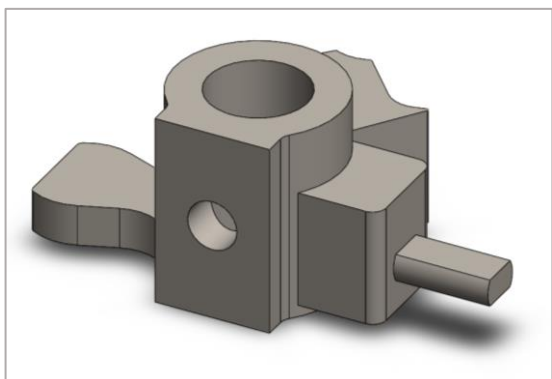


Imagen A2. 74 Comparativa P8

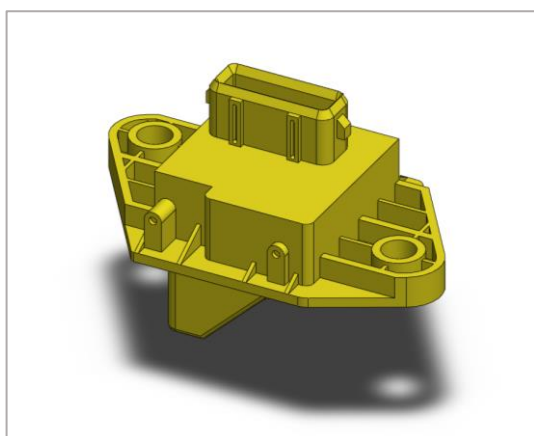


Imagen A2. 75 Comparativa P9.a

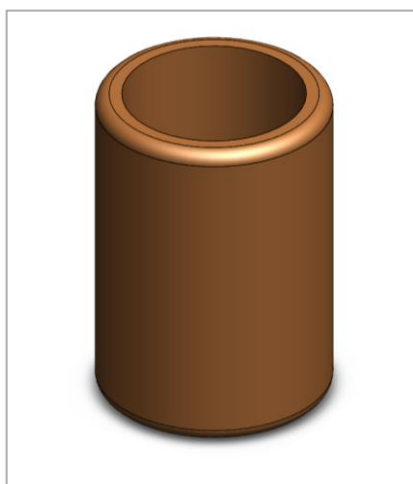


Imagen A2. 76 Comparativa P9.b

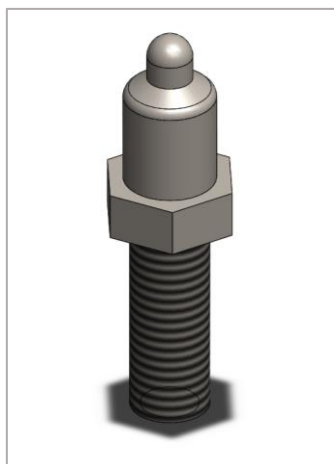


Imagen A2. 77 Comparativa P10

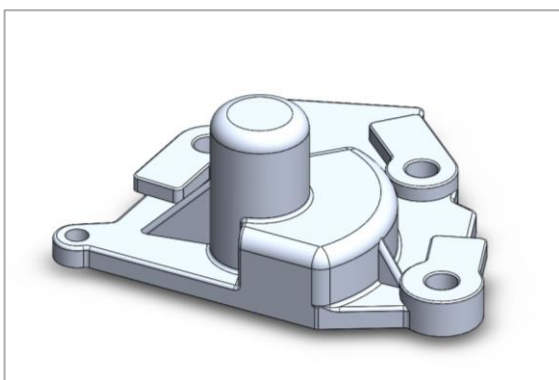


Imagen A2. 78 Comparativa PCarcasa

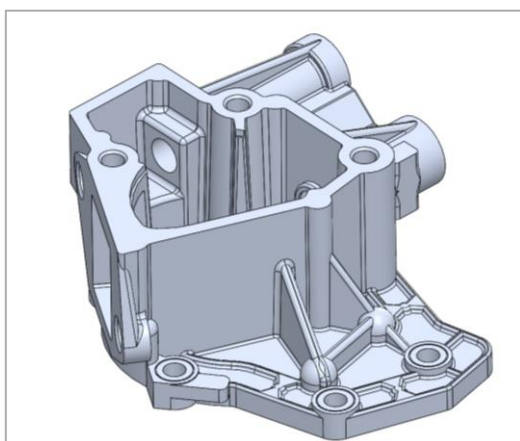


Imagen A2. 79 Comparativa PCaja

Rodamientos

Imagen A2. 80 Comparativa rodamientos cónicos corona



Imagen A2. 81 Comparativa rodamientos cónicos eje primario



Imagen A2. 82 Comparativa rodamientos cónicos eje primario (marcha atrás)



Imagen A2. 83 Comparativa rodamientos cónicos eje secundario

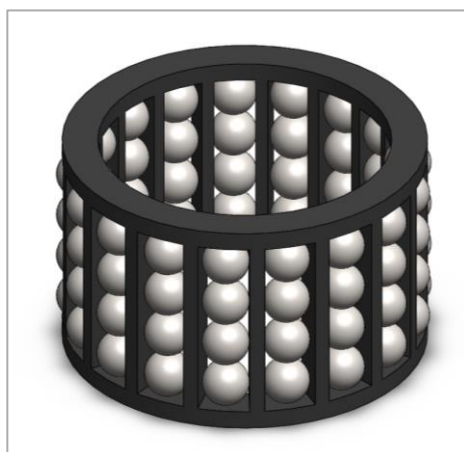


Imagen A2. 84 Detalle rodamiento de jaula y bolas

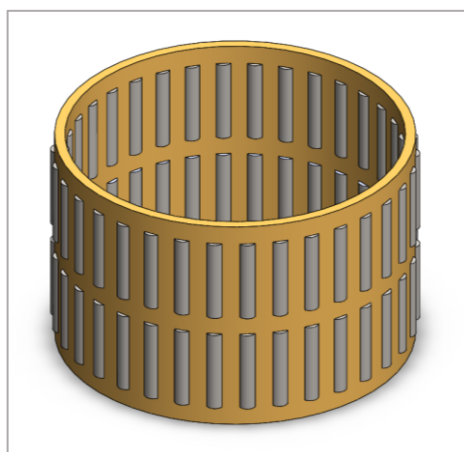


Imagen A2. 85 Comparativa rodamiento de jaula y doble de agujas

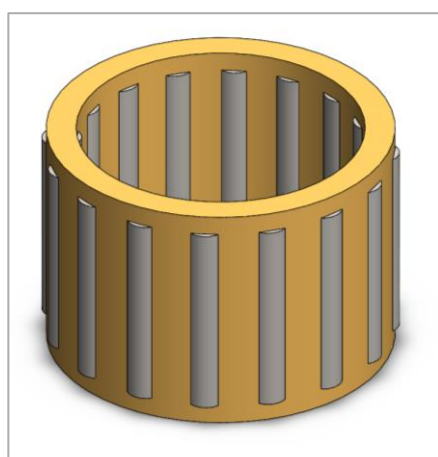


Imagen A2. 86 Detalle rodamiento de jaula y agujas

A3. Ensamblaje y subensamblaje



Imagen A2. 87 Ensamblaje buje y desplazable 1ª – 2ª

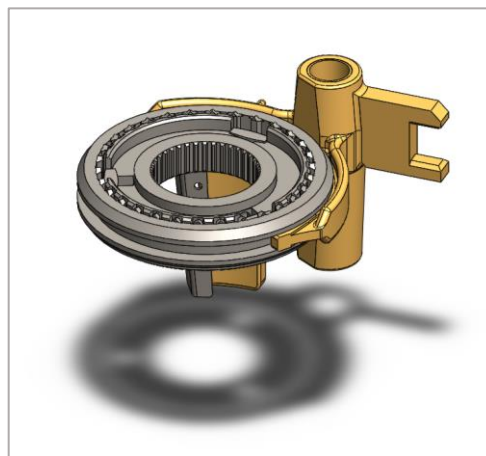


Imagen A2. 88 Ensamblaje buje y desplazable 3ª y 4ª

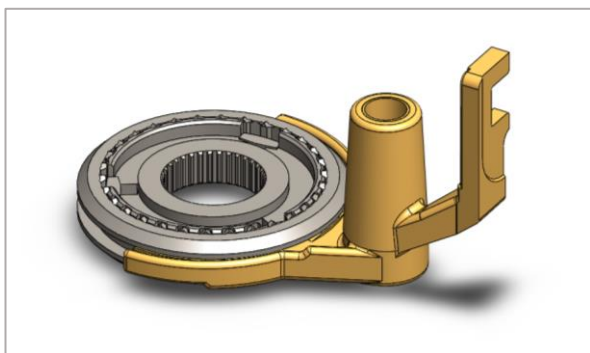


Imagen A2. 89 Ensamblaje buje y desplazable 5ª – M.A.



Imagen A2. 90 Ensamblaje 1ª cono



Imagen A2. 91 Ensamblaje 2ª cono

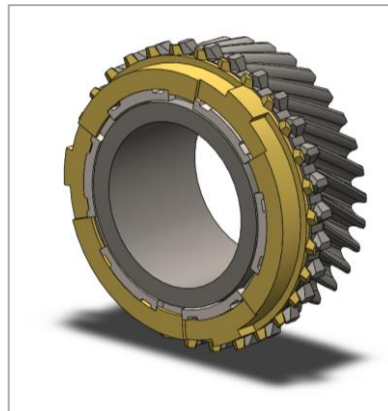


Imagen A2. 92 Ensamblaje 3ª cono



Imagen A2. 93 Ensamblaje 4ª cono

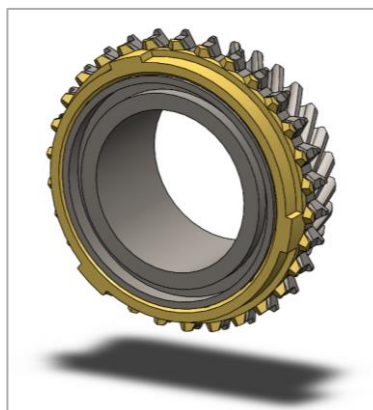


Imagen A2. 94 Ensamblaje 5ª cono



Imagen A2. 95 Ensamblaje marcha atrás cono



Imagen A2. 96 Ensamblaje rodamiento cónico corona



Imagen A2. 97 Ensamblaje rodamiento cónico primario 1ª



Imagen A2. 98 Ensamblaje rodamiento cónico primario M.A.



Imagen A2. 99 Ensamblaje rodamiento cónico secundario

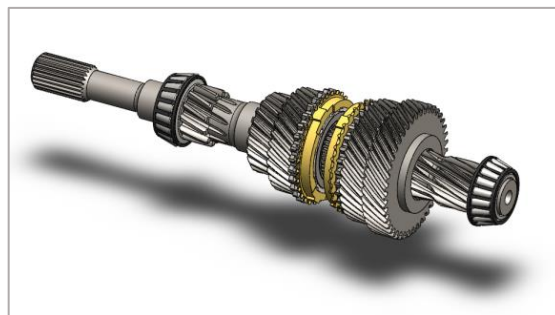


Imagen A2. 100 Ensamblaje eje primario

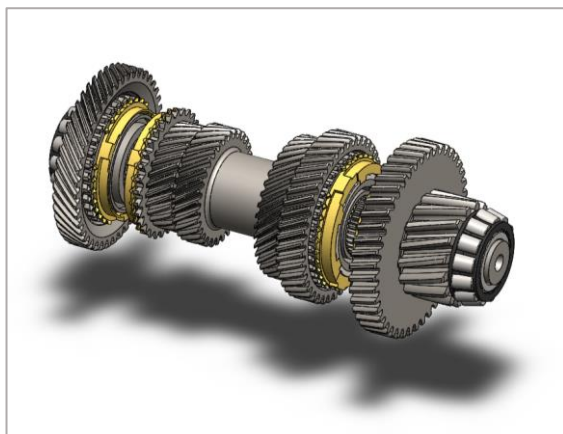


Imagen A2. 101 Ensamblaje eje secundario

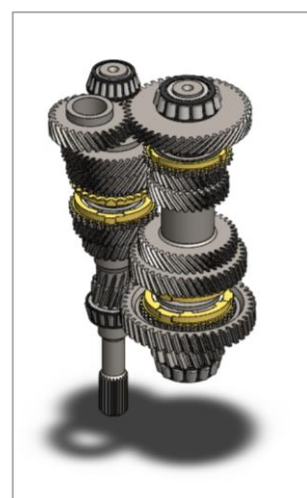


Imagen A2. 102 Ensamblaje paquetería interior

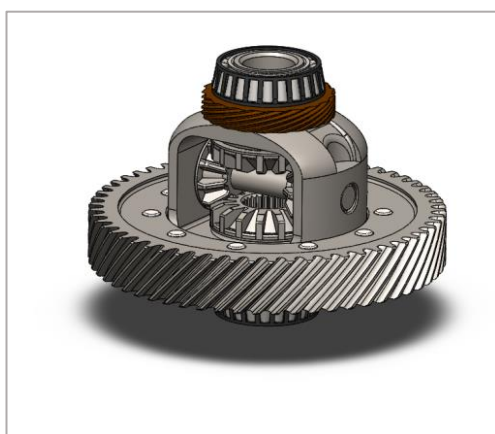


Imagen A2. 103 Ensamblaje corona diferencial

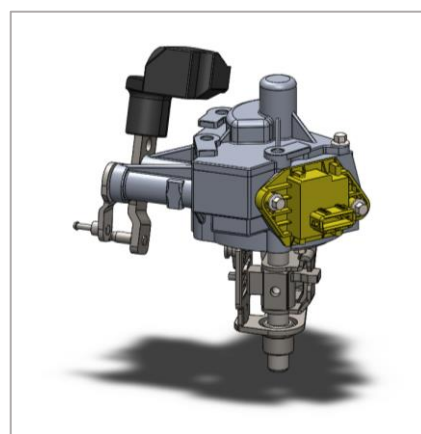


Imagen A2. 104 Ensamblaje palanca de mando

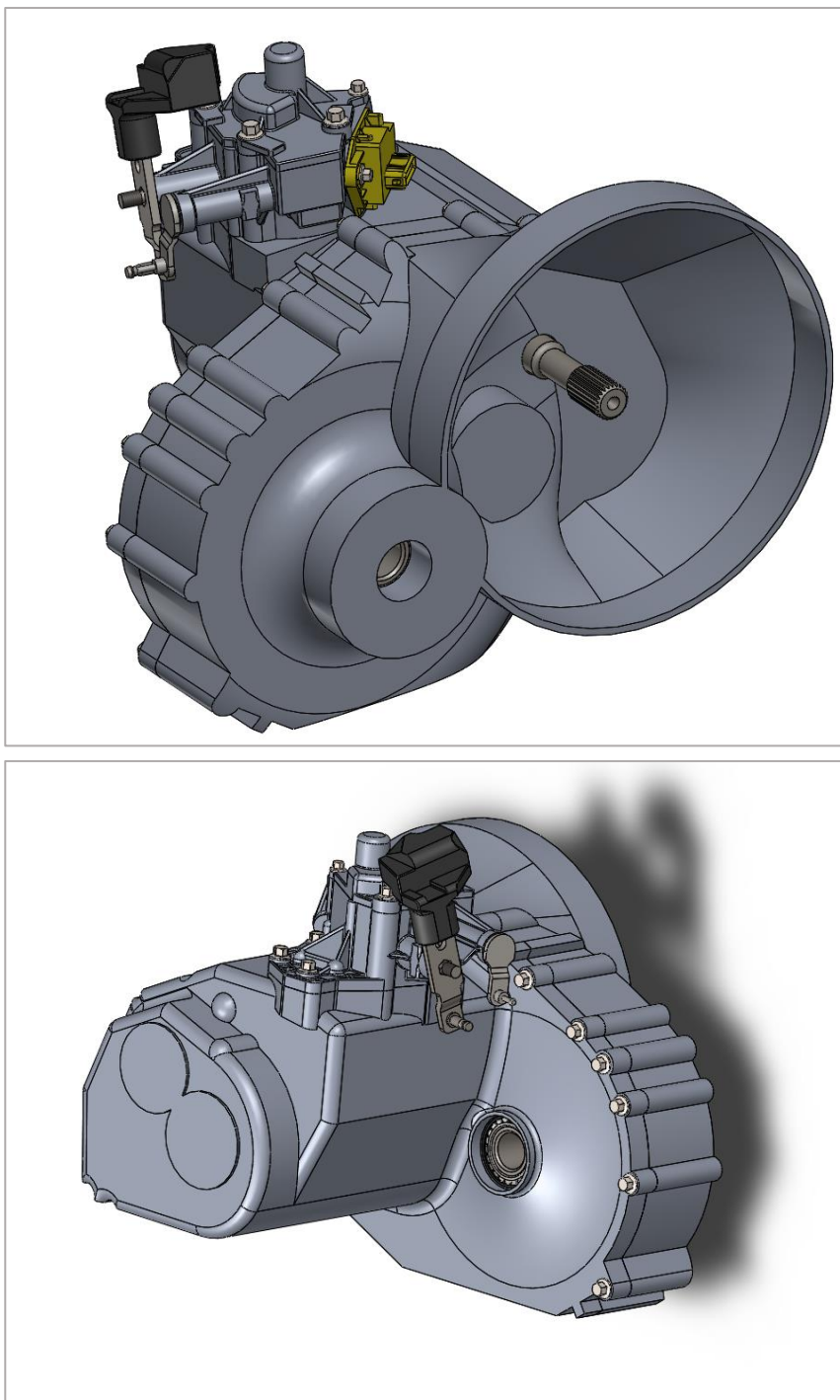


Imagen A2. 105 Ensamblaje caja cambios completa

A4. Vistas explosionadas

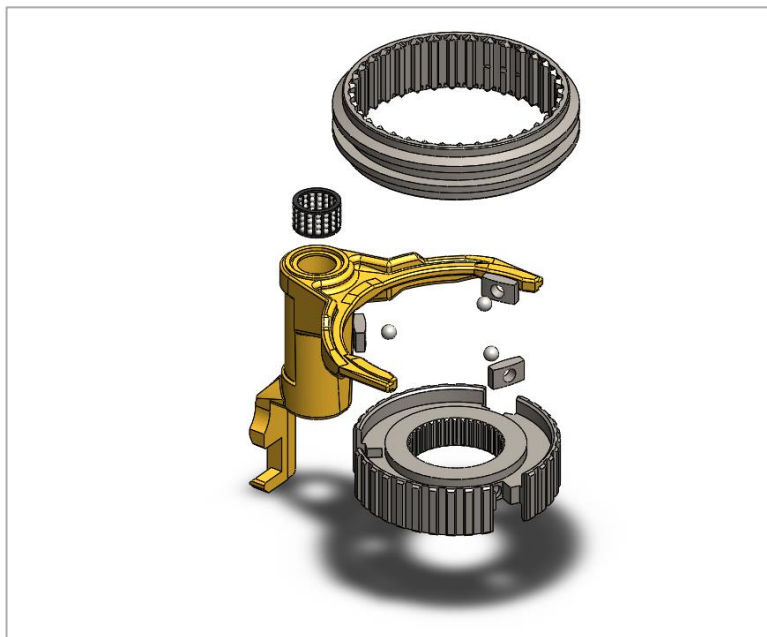


Imagen A2. 106 Explosionado buje y desplazable 1ª – 2ª

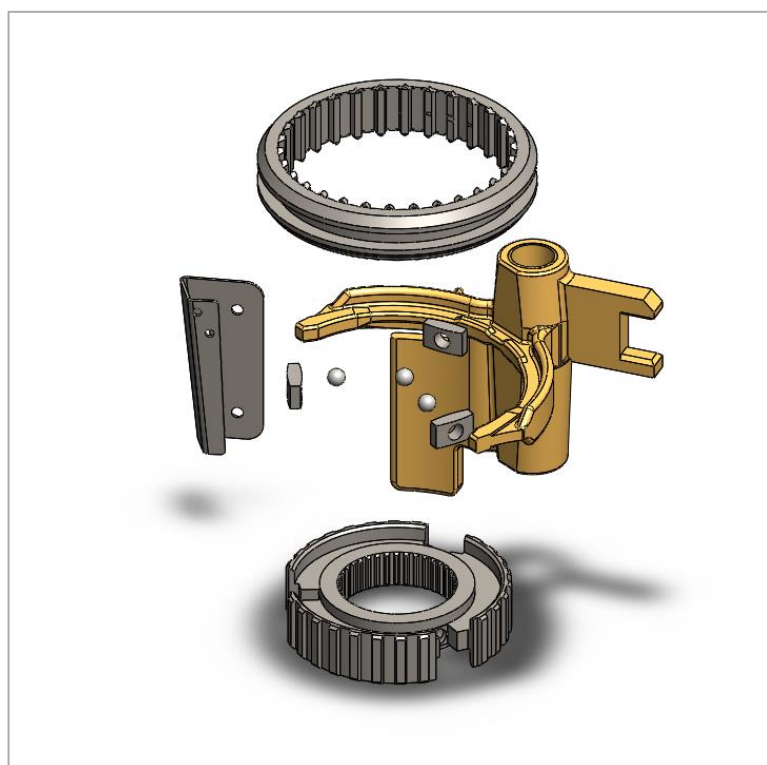


Imagen A2. 107 Explosionado buje y desplazable 3ª – 4ª

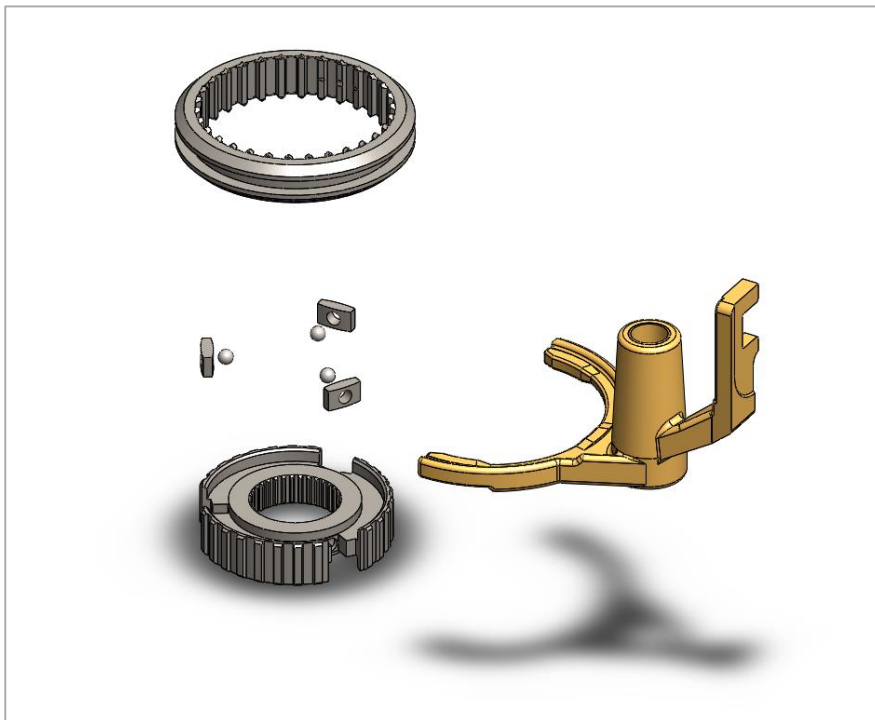


Imagen A2. 108 Explosionado buje y desplazable 5ª – M.A.



Imagen A2. 109 Explosionado 1ª cono



Imagen A2. 110 Explosionado 2ª cono



Imagen A2. 111 Explosionado 3ª cono



Imagen A2. 112 Explosionado 4ª cono

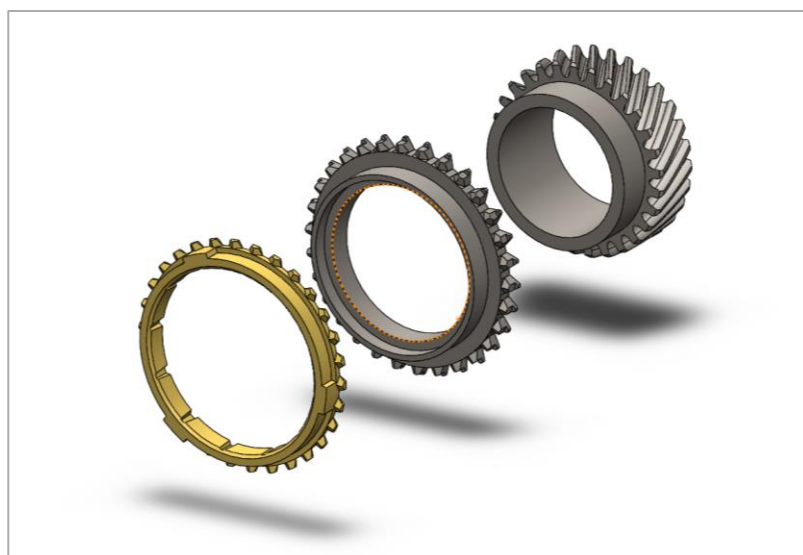


Imagen A2. 113 Explosionado 5ª cono



Imagen A2. 114 Explosionado marcha atrás cono



Imagen A2. 115 Explosionado rodamiento cónico corona



Imagen A2. 116 Explosionado Rodamiento cónico 1ª vel.

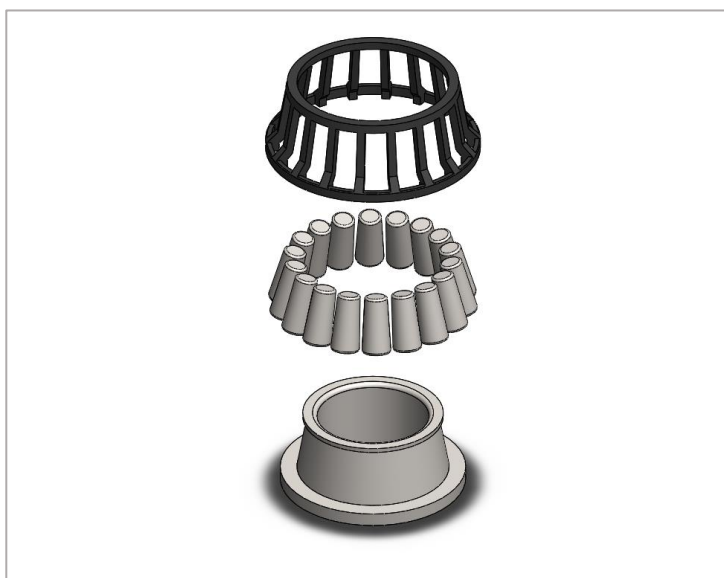


Imagen A2. 117 Explosionado rodamiento cónico primario marcha atrás



Imagen A2. 118 Explosionado rodamiento cónico del eje secundario



Imagen A2. 119 Explosionado corona diferencial



Imagen A2. 120 Explosionado eje primario



Imagen A2. 121 Explosionado eje secundario

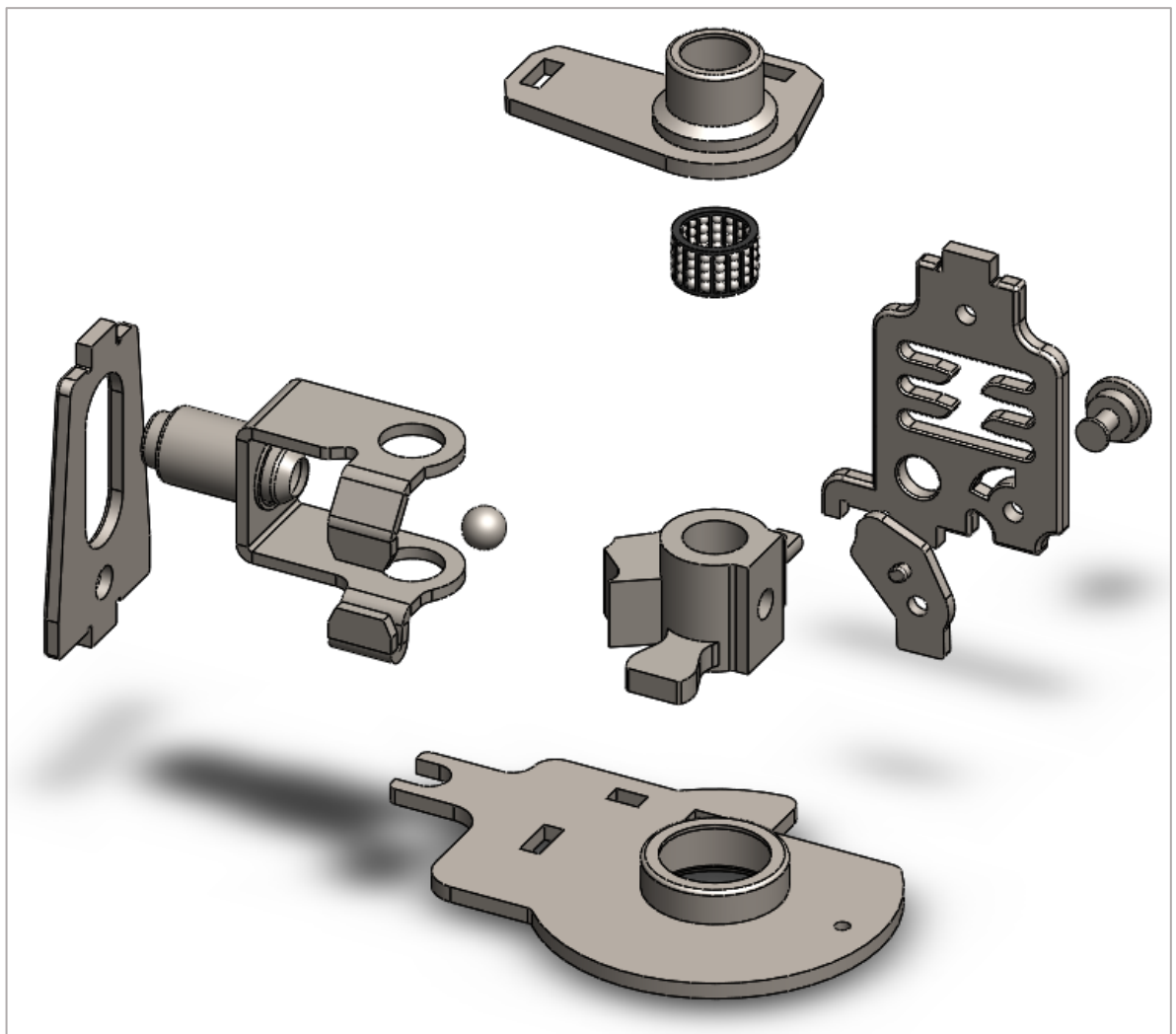


Imagen A2. 122 Explosionado conjunto interno de la palanca de mando

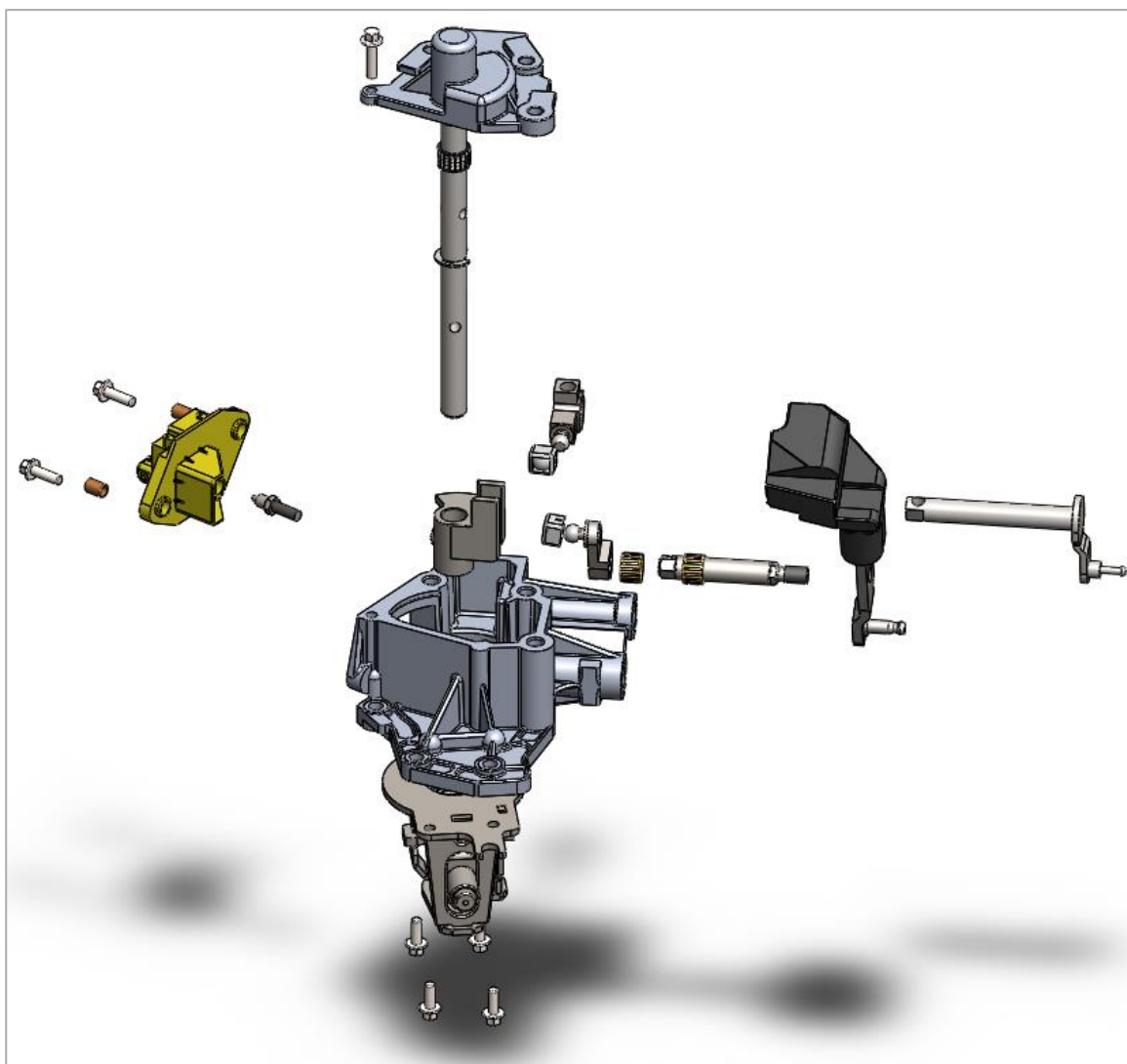


Imagen A2. 123 Explosionado palanca de mando

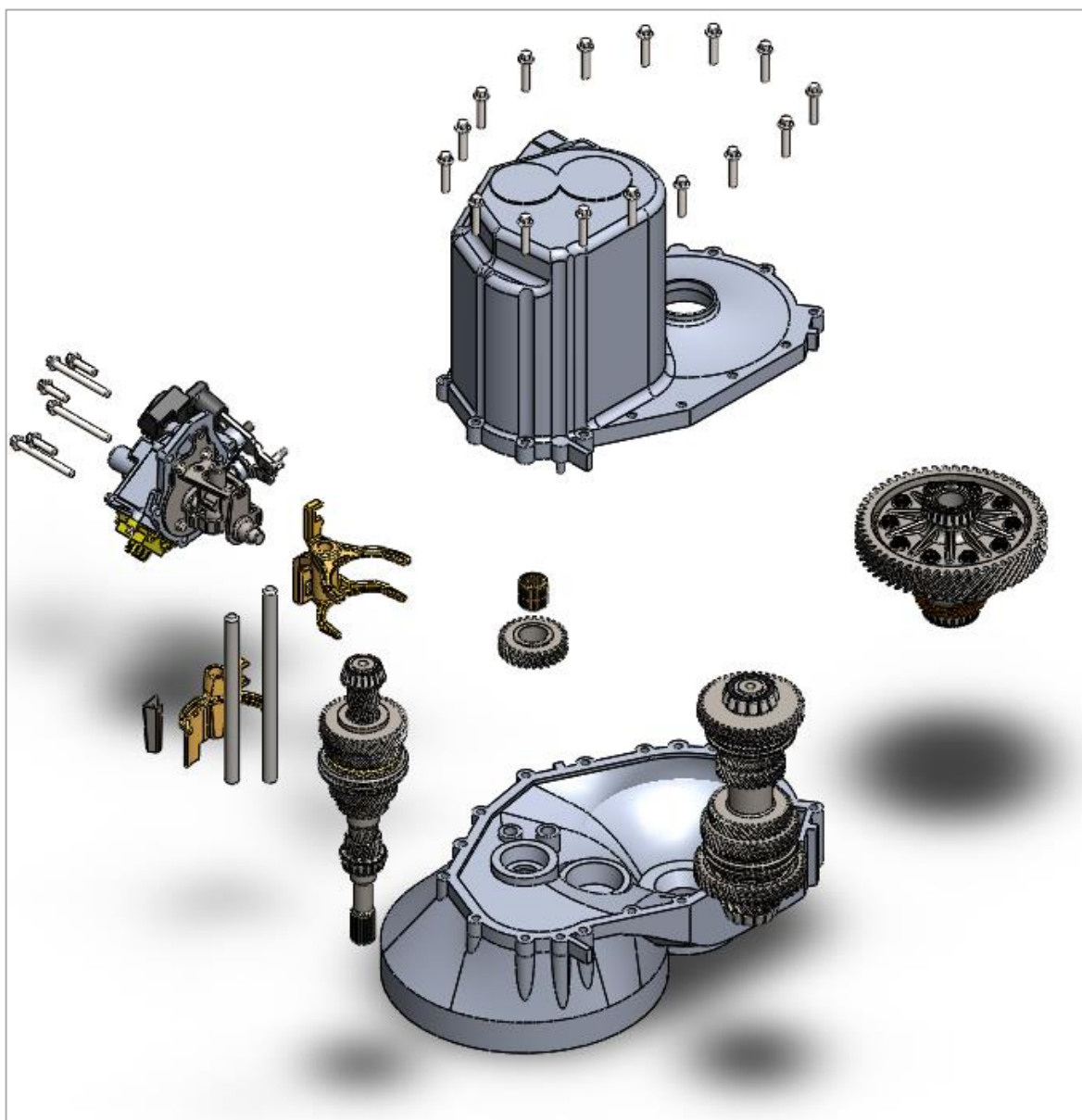


Imagen A2. 124 Explosionado caja cambios completa

A5. Estudios realizados en el trabajo original

Parametrización

Tabla A5. 1 Distribución de los engranajes a derechas e izquierdas

ENGRANAJES DERECHAS	ENGRANAJES IZQUIERDAS
3ª cono	1ª cono
4ª cono	2ª cono
5ª plana	5ª cono
MA cono	MA plana

Tabla A5. 2 Tabla de módulos normalizados

Dimensiones del diente en los pasos normales del módulo

Módulo.	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
Paso. mm.	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42	10,21
Espacio entre dientes. »	1,57	1,97	2,36	2,75	3,14	3,54	3,93	4,32	4,71	5,11
Espesor del diente. »	2,17	2,71	3,25	3,79	4,33	4,87	5,42	5,96	6,5	7,04
Profundidad del diente. »										
Módulo.	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75
Paso. mm.	11	11,78	12,56	13,35	14,13	14,92	15,70	16,49	17,28	18,06
Espacio entre dientes. »	5,5	5,89	6,29	6,68	7,07	7,46	7,86	8,25	8,64	9,03
Espesor del diente. »	7,58	8,13	8,67	9,21	9,75	10,29	10,83	11,38	11,92	12,46
Profundidad del diente. »										
Módulo.	6	6,25	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12
Paso. mm.	18,84	19,64	20,42	21,99	23,56	25,13	28,27	31,42	34,56	37,7
Espacio entre dientes. »	9,43	9,82	10,21	11	11,78	12,57	14,14	15,71	17,28	18,85
Espesor del diente. »	13	13,54	14,08	15,17	16,25	17,32	19,5	21,67	23,83	26
Profundidad del diente. »										
Módulo.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Paso. mm.	40,84	43,98	47,12	50,27	53,41	56,55	59,69	62,83	65,97	69,12
Espacio entre dientes. »	20,42	21,99	23,56	25,13	26,70	28,27	29,85	31,42	32,98	34,56
Espesor del diente. »	28,17	30,33	32,5	34,67	36,83	39	41,17	43,33	45,5	47,67
Profundidad del diente. »										
Módulo.	25	28	30	32	35	38	40	50		
Paso. mm.	78,54	87,96	94,25	100,53	109,96	109,38	125,66	157,08		
Espesor del diente. »	39,27	43,98	47,12	50,26	54,98	59,69	62,83	78,54		
Profundidad del diente. »	53,9	60,4	64,7	69	75,5	81,9	86,3	107,8		

Módulos Normalizados

Engranajes a izquierdas

Tabla A5. 3 Datos obtenidos de la medición de los engranajes a izquierdas

PARAMETRIZACIÓN DENTADO IZQUIERDAS										
DATOS PIEZA										
Engranaje	L2	L3	D _{exterior}	Espesor	d _{in}	Z	C _{in} abajo	Dif. altura	D _{extcil}	Espesor total
5ª CONO	9,8	16,3	66,3	17,5	44,1	29	1,2	2,73	52,92	32,07
MA PLANA	11,7	18,58	73,18	17,9	31	29	2,06	0	42	26,26
1ª CONO	12,8	20,45	120,96	17,8	41,6	44	1	0	57,42	30,8
2ª CONO	11,3	18,13	104,87	18,0	48,6	43	1	0	57,42	31,41
Angulo	0,34									

Tabla A5. 4 Calculo del paso base, paso primitivo, modulo, modulo normalizado y paso primitivo normalizado

CALCULO MODULO Y PASO PRIMITIVO					
TABLA					
Engranaje	Paso Base	Paso primitivo	Modulo	Modulo N	Pp _n
5ª CONO	6,5	6,917	2,20	2,25	7,069
MA PLANA	6,86	7,300	2,32	2,5	7,854
1ª CONO	7,6	8,088	2,57	2,75	8,639
2ª CONO	6,83	7,268	2,31	2,5	7,854

Tabla A5. 5 Resultados finales que se introducen en SolidWorks

RESULTADOS															
Engranaje	Pp _n	D _{ext}	D _{in}	Espesor	D _p	D _{FO}	C _{PASO}	Pp _{N1/2}	Pp _{N1/2}	Pp _{N2/2}	Pp _{N3/2}	Z	D _{EXTCIL}	C _{IN} ABAJO	C _{IN} ARRIBA
5ª CONO	7,069	66,3	44,1	17,5	61,8	56,175	1,767	3,5	3,5	3,5	3,5	29	52,92	1,2	29,34
MA PLANA	7,854	73,18	31	17,97	68,18	61,93	1,963	3,9	3,9	3,9	3,9	29	42	2,06	26,26
1ª CONO	8,639	120,9	41,6	17,87	115,4	108,58	2,159	4,3	4,3	4,3	4,3	44	57,42	1	30,8
2ª CONO	7,854	104,8	48,6	18,02	99,87	93,62	1,963	3,9	3,9	3,9	3,9	43	57,42	1	31,41

Engranajes a derechas

Tabla A5. 6 Datos obtenidos de la medición de los engranajes a derechas

PARAMETRIZACIÓN DENTADO DERECHAS										
DATOS PIEZA										
Engranaje	L2	L3	D _{ext}	Espesor	D _{IN}	Z	C _{IN ABAJO}	DIF. ALTURA	D _{EXTCIL}	ESPESOR TOTAL
MA CONO	13	20,4	113,31	15,7	38,4	45	0,75	1	50	29,7
3ª CONO	10,2	16,65	71,58	18,6	43,5	31	0,88	0	52,92	32,63
4ª CONO	9,93	16,27	84,38	17,7	43,5	37	1,63	3,5	52,92	32,85
5ª PLANA	9,83	16,19	93,23	17,2	35,97	43	5,58	0	53,88	17,21
Angulo	0,34									

Tabla A5. 7 Cálculo del paso base, paso primitivo, módulo, módulo normalizado y paso primitivo normalizado

CÁLCULO MÓDULO Y PASO PRIMITIVO					
Engranaje	Paso Base	Paso primitivo	Módulo	Módulo N	Pp _n
MA CONO	7.4	7,875	2,51	2,5	7,854
3ª CONO	6.37	6,779	2,16	2,5	7,854
4ª CONO	6.34	6,747	2,15	2,5	7,854
5ª PLANA	6.36	6,768	2,15	2,5	7,854

Tabla A5. 8 Resultados finales que se introducen en SolidWorks

RESULTADOS															
Engranaje	Pp _n	D _{ext}	D _{IN}	Espesor	D _p	D _{FO}	C _{PASO}	Pp _N /2	Pp _{N1} /2	Pp _{N2} /2	Pp _{N3} /2	Z	D _{EXTCIL}	C _{IN ABAJO}	C _{IN ARRIBA}
MA CONO	7,854	113,3	38,4	15,77	108,3	102,06	1,963	3,9	3,9	3,9	3,9	45	50	0,75	28,7
3ª CONO	7,854	71,58	43,5	18,6	66,58	60,33	1,963	3,9	3,9	3,9	3,9	31	52,92	0,88	32,63
4ª CONO	7,854	84,38	43,5	17,7	79,38	73,13	1,963	3,9	3,9	3,9	3,9	37	52,92	1,63	29,35
5ª PLANA	7,854	93,23	35,97	17,21	88,23	81,98	1,963	3,9	3,9	3,9	3,9	43	53,88	5,58	17,21

Conos

Tabla A5. 9 Datos obtenidos de la medición de los conos

PARAMETRIZADO CONOS															
DATOS PIEZAS															
Pieza	DMEDIO@Croquis1	DEXTCIL@Croquis1	D1@Saliente-Extruir1	AN.DIEN@Croquis3	D1@Saliente-Extruir2	D1@Chaflán1	D3@Chaflán1	D1@Chaflán2	D3@Chaflán2	D1@Cortar-Extruir1	EspesorPunta@Croquis5	Espesor.Plana@Croquis5	D1@Cortar-Extruir2	D1@MatrizC1	\$Estado@Croquis6
Patrón	72,7	44	5	5,4	4,1	4,1	2,2	2,2	4,1	4,1	1	1,3	1,3	30	Sup
2ª CONO	80,5	57,4	5	4,7	2,1	2,1	1,3	1,3	2,1	2,1	0,4	0	0,01	36	Sup
1ª CONO	80,5	57,4	5	4,7	2,1	2,1	1,3	1,3	2,1	2,1	0,4	0	0,01	36	Sup
3ª CONO	72,6	52,9	4,4	5,3	4,1	4,1	2,4	2,4	4,1	4,1	0,85	1,2	1,2	30	Sup
4ª CONO	72,6	52,9	5	5,3	4,1	4,1	2,1	2,1	4,1	4,1	0,85	1,2	1,2	30	Supd
5ª CONO	72,6	52,9	4,9	5,3	4,1	4,1	2,1	2,1	4,1	4,1	0,85	1,3	1,3	30	Supd
MA CONO	72,6	50	5	5,6	4,1	4,1	2,3	2,3	4,1	4,1	1	1,5	1,2	30	Supd

Aros sincronizadores

Tabla A5. 10 Datos obtenidos de la medición de los Aros 2

Parametrización Aro 2					
Pieza	DEXT@Croquis1	DINT@Croquis1	D1@Saliente-Extruir1	ANCHURA@Croquis2	D1@Saliente-Extruir2
Patrón	63,890	59,390	6,120	7,550	4,130
1ª CONO	68,550	63,850	6,640	7,610	4,260
2ª CONO	68,550	63,850	6,640	7,610	4,260
3ª CONO	63,890	59,390	6,120	7,550	4,130

Tabla A5. 11 Datos obtenidos de la medición de los Aros 3

Parametrización Aro 3					
Pieza	DEXT@Croquis1	DINT@Croquis1	D1@Saliente-Extruir1	ANCHURA@Croquis2	D1@Saliente-Extruir2
Patrón	53,860	59,390	2,980	57,550	3,740
1ª CONO	57,420	63,850	2,870	62,750	3,610
2ª CONO	57,420	63,850	2,870	62,750	3,610
3ª CONO	53,86	59,39	2,98	57,55	3,74

Rodamientos

Tabla A5. 12 Datos obtenidos de la medición de los diferentes rodamientos

Parametrización rodamientos							
Piezas	Diámetro interior jaula	Grosor jaula	Ancho jaula	Diámetro aguja	Longitud aguja	Nº de filas de agujas	Nº de agujas
Rod. 1ª	4,0	0,12	2,7	0,215	1,0	2	34
Rod. 2ª	4,0	0,15	2,825	0,26	1,15	2	27
Rod. 3ª y 4ª	4,4	0,2	3,1	0,26	1,2	2	32
Rod. 5ª	3,7	0,2	2,53	0,26	0,95	2	28
Rod. MA aux	3,38	0,2	2,75	0,26	0,95	2	26
Rod. MA	2,6	0,2	2,832	0,3	1,15	2	22

Inyección de plástico

En el proyecto original, se realizó el estudio de inyección de plástico. Para ello, se ha creado el molde de una de las piezas de nuestro proyecto. Concretamente la pieza “P9.a (Con molde).SLDPRT” la cual se encuentra separada del ensamblaje. Dentro del ensamblaje está pieza pero sin el molde.

La pieza es la siguiente:

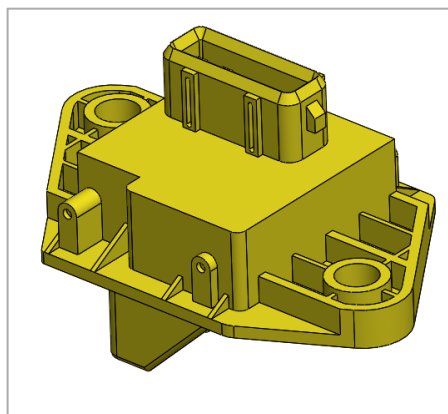


Imagen A2. 125 Pieza P9.a con la que se ha realizado el estudio de inyección de plástico

Lo primero para hacer el molde de cualquier pieza es desplegar la barra de “Herramientas de moldes” en SolidWorks. Una vez con la pieza ya creada, hay que realizar unos análisis previos para que el molde sea correcto. El primero es el “Análisis de ángulo de salida” que permite visualizar si hay caras en la pieza que den problemas al separarla del molde. Como “Dirección de desmoldado” seleccionamos la cara plana inferior de la base ya que el molde se dividirá por esa superficie.

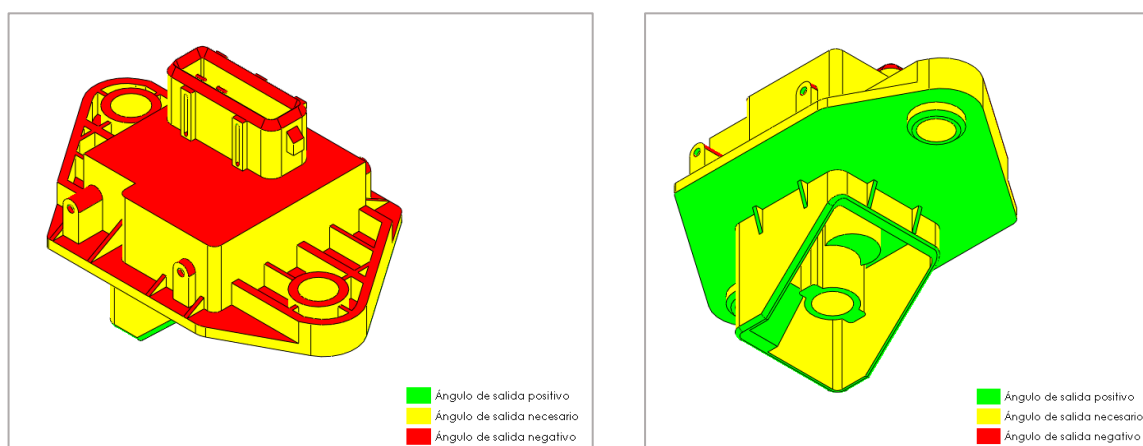


Imagen A2. 126 Resultado del análisis de ángulo de salida

Las caras amarillas son las que pueden dar problemas al retirar la pieza del molde ya que son perpendiculares a la dirección de desmoldado. Esto debería corregirse aplicando pequeños ángulos de salida en las caras afectadas.

El siguiente estudio que realizar es el “Análisis de cortes sesgados”, el cual indica en rojo si partes de la pieza dan problemas al interferir con la dirección de salida del molde. Nuestra pieza tiene varios puntos conflictivos en la parte superior y en varios agujeros. Esto se solucionará más adelante con la utilización de carrillos en el molde.

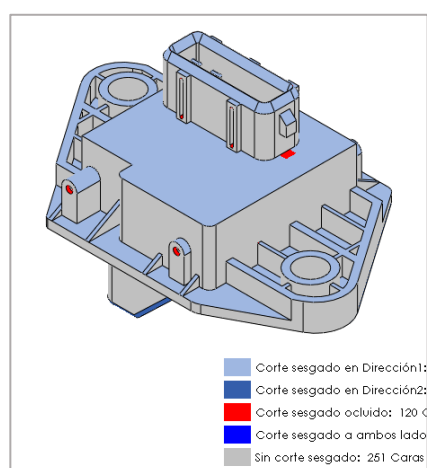


Imagen A2. 127 Resultado del análisis de cortes sesgados

A continuación se aplican las operaciones de “Líneas de separación” y “Superficies de separación” para indicar el punto por el que se divide la pieza.

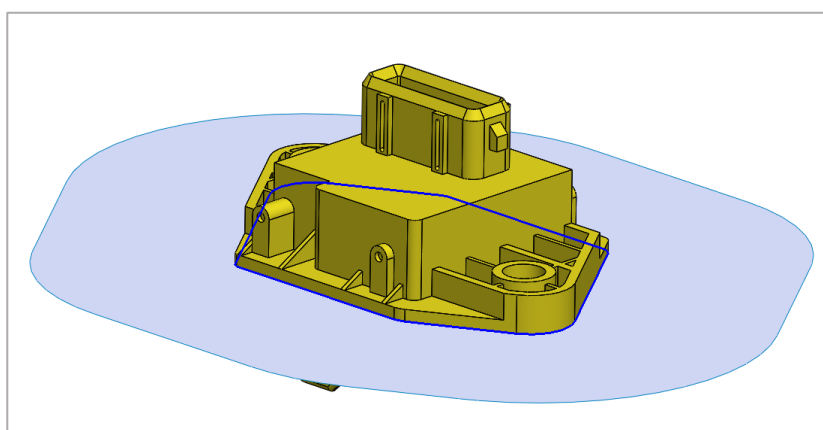


Imagen A2. 128 Superficie de separación superior

Con la operación “Superficies desconectadas” se puede tapar con una superficie los agujeros que atraviesen la pieza para dividir el punto de unión entre el molde inferior y el superior.

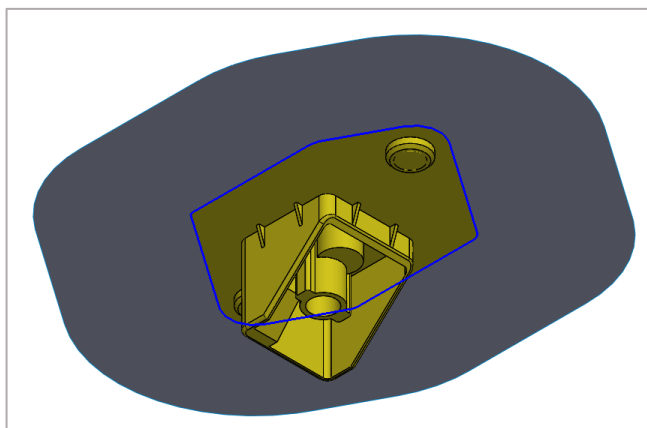


Imagen A2. 129 Superficie de separación inferior

Seguidamente se aplica la opción “Núcleo/Cavidad” indicando la superficie de separación y la posición de los dos moldes (el núcleo y la cavidad) para generar los moldes con la forma que se les quiera dar mediante un croquis extruido.

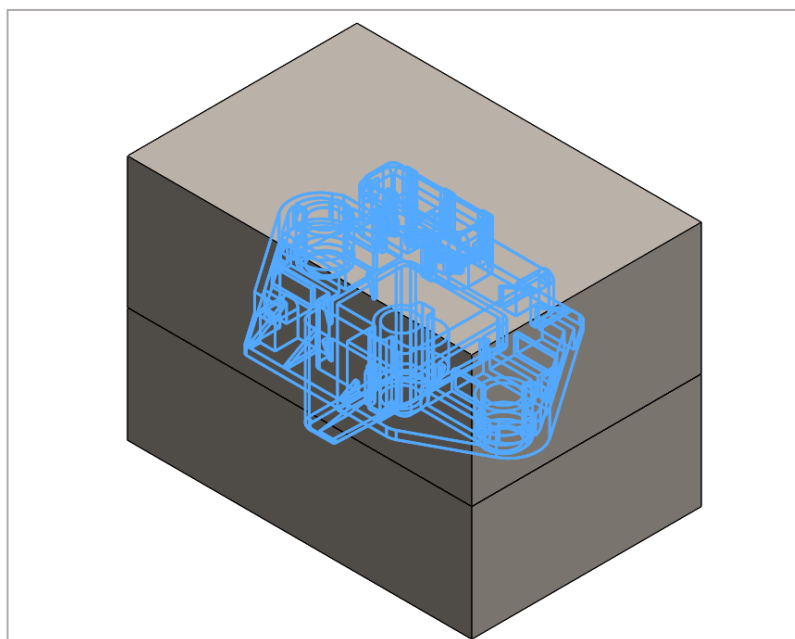


Imagen A2. 130 Generación de los moldes

A continuación, con la ayuda de la operación “Núcleo” y dibujando croquis, se pueden extruir, dentro de los moldes, los carrillos necesarios para solventar los problemas detectados en el “Análisis de cortes sesgados”.

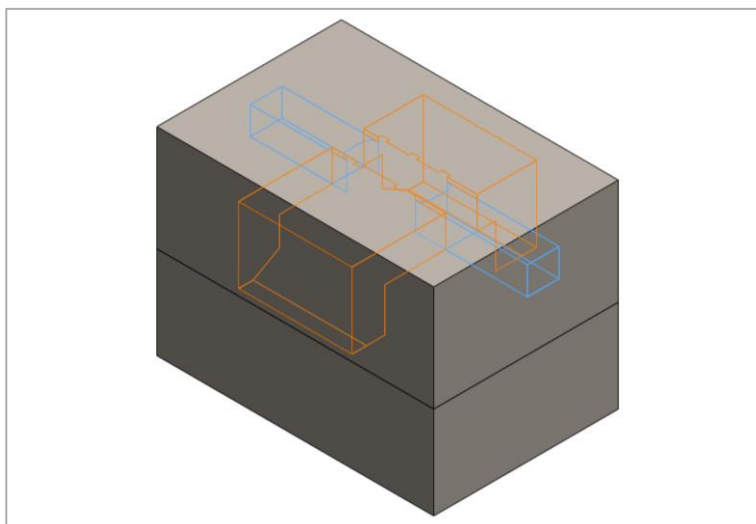


Imagen A2. 131 Diseño de los carrillos para solventar los problemas detectados en el análisis de cortes sesgados

Finalmente, con la operación “Mover/Copiar sólidos”, se pueden mover los sólidos dentro de la pieza para dar un efecto explosionado al conjunto.

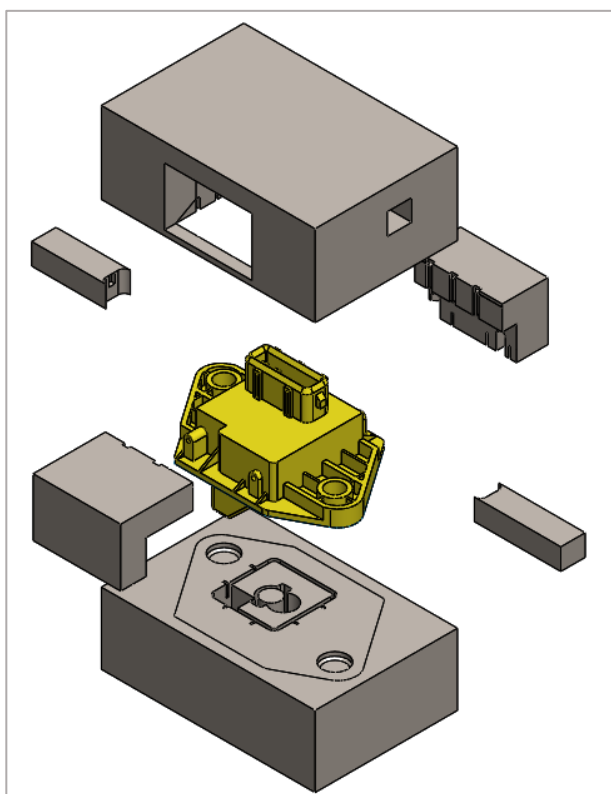


Imagen A2. 132 Explosionado de las diferentes partes del molde

Chapa metálica

En este estudio se ha aplicado la herramienta de chapa metálica para las piezas P7.a y la horquilla 3ª – 4ª.b donde hemos trabajado los diversos pliegues.

Para realizar las piezas con la herramienta de chapa metálica se ha utilizado el siguiente proceso:

1. Generación de la pieza sin pliegues.
2. Selección de las aristas y plegar la chapa.
3. Realizar las operaciones necesarias para acabar la pieza.

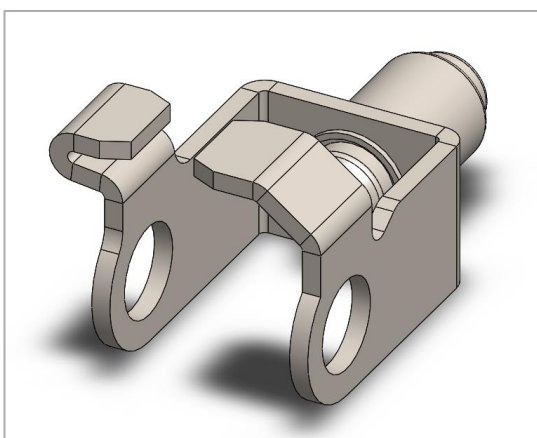


Imagen A2. 133 Pieza P7.a plegada

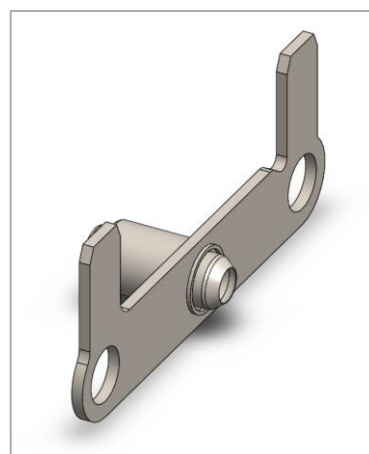


Imagen A2. 134 Pieza P7.b desplegada

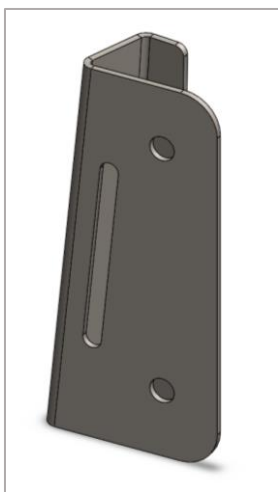


Imagen A2. 135 Pieza horquilla 3ª – 4ª.B plegada

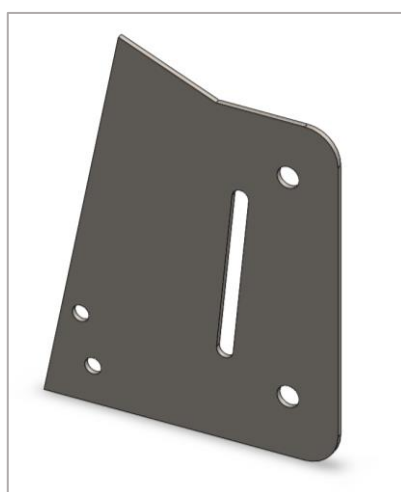


Imagen A2. 136 Pieza horquilla 3ª – 4ª.B desplegada

Imagen sintética

Respecto la imagen sintética renderizada, se ha querido plasmar la posición donde una caja de cambios va colocada generalmente en un coche. Para esto hemos utilizado una fotografía donde no está colocada esta. A partir de dicha fotografía, se ha renderizado nuestra caja y se ha colocado encima para simular su posición real dentro del coche.



Imagen A2. 137 Imagen original para el estudio de imagen sintética



Imagen A2. 138 Resultado final de la imagen sintética

A6. Tolerancias

Tabla A6. 1 Simbología para la indicación de tolerancias de forma














TOLERANCIAS	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO
Forma	Rectitud	—
	Planitud	
	Redondez	
	Cilindricidad	
	Perfil de una línea	
	Perfil de una superficie	
Orientación	Paralelismo	
	Perpendicularidad	
	Angularidad	
Localización	Posición	
	Concentricidad y Coaxialidad	
	Simetría	
Alabeo	Circular	
	Total	

Tabla A6. 2 Relación entre rugosidad y operaciones de mecanizado

Grupos de valores		Tolerancia	Superficie	Posible ejecución																	
				Super-acabado	Lapeado		Rectificado		Brochado		Mandrado		Taladrado		Fresado		Cepillado		Torneado		
				Fino	Fino	Común	Acabado	Desbaste	Fino	Común	Fino	Común	Medio	Basto	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Semiab.	Desbaste
0 – 0,04	0,04	Determinar según caso																			
0,04 – 0,06	0,06																				
0,06 – 0,1	0,1																				
0,1 – 0,16	0,16																				
0,16 – 0,25	0,25	IT5																			
0,25 – 0,4	0,4																				
0,4 – 0,6	0,6																				
0,6 – 1	1	IT7																			
1 – 1,6	1,6																				
1,6 – 2,5	2,5	IT8																			
2,5 – 4	4																				
4 – 6	6	IT9																			
6 – 10	10																				
10 – 25	25	IT10																			
25 – 63	63	-																			
> 63	-	-																			

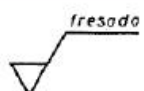
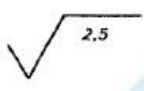


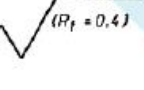
Tabla A6. 3 Relación entre rugosidad y tipo de material en procesos de compactación en polvo

CALIDAD	ALEACIONES DE Fe COTA TRANSVERSAL	ALEACIONES DE Fe COTA LONGITUDINAL	ALEACIONES LIGERAS Y DE Cu	ACEROS MUY ALEADOS Y CERÁMICA
8	COMPACTADO + CALIBRADO		TOLERANCIAS DEL ORDEN DE LA MITAD DE LAS CONSEGUIDAS CON FE	TOLERANCIAS DEL ORDEN DEL DOBLE DE LAS CONSEGUIDAS CON FE
9		COMPACTADO + CALIBRADO		
10	COMPACTADO			
11		COMPACTADO		

Tabla A6. 4 Clase de rugosidad en función del valor convencional de rugosidad (R_a)

CLASE DE RUGOSIDAD EN FUNCIÓN DE LA RUGOSIDAD (R_a)	
Valor de la rugosidad (R_a)	Clase de rugosidad
50	N12
25	N11
12.5	N10
6.3	N9
3.2	N8
1.6	N7
0.8	N6
0.4	N5
0.2	N4
0.1	N3
0.05	N2
0.025	N1

Tabla A6. 5 Simbología de los acabados superficiales en los planos

	Símbolo	Significado
A.3.1.		Proceso de fabricación: fresado.
A.3.2.		Longitud base: 2,5 mm.
A.3.3.		Dirección de las estrías: perpendiculares al plano de proyección de la vista.
A.3.4.		Sobremedida de mecanizado: 2 mm.
A.3.5.		Indicación (entre paréntesis) de un criterio de rugosidad diferente al que se usa para R_a ; por ejemplo, $R_t = 0,4 \mu\text{m}$.

A7. Ajustes

Tabla A7. 1 Clases de tolerancias desde el punto de vista de agujero o eje

CLASES DE TOLERANCIAS			
Campo de tolerancia para agujero H Agujero único	Campo de tolerancia para ejes		
	Ajustes con juego	Ajustes indeterminados	Ajustes con apriete
	a b c d e f g h	j k m n	p r s t u v x y z za zb zc
Campo de tolerancia para ejes H Eje único	Campo de tolerancias para agujeros		
	Ajustes con juego	Ajustes indeterminados	Ajustes con apriete
	A B C D E F G H	J K M N	P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC

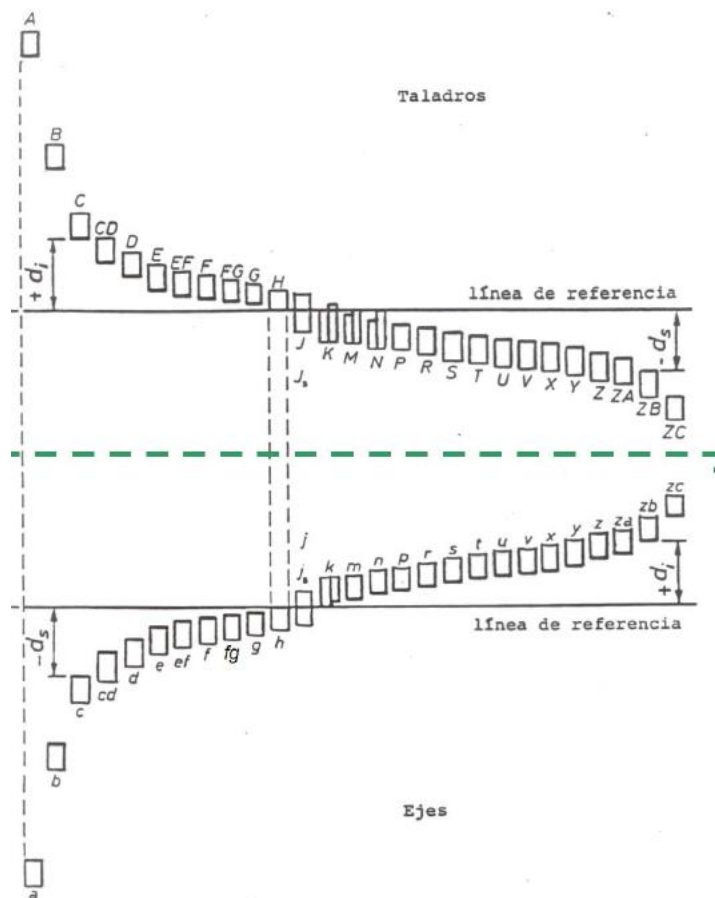


Imagen A7. 1 Representación gráfica de los diferentes ajustes en función de eje o agujero

Tabla A7. 2 Determinación del ajuste final en función de ajuste móvil o ajuste con apriete

AJUSTES MÓVILES								
		Agujero base			Eje base			
		H7	H8	H11	h6	h7	h8	h11
Con gran juego (alineación defectuosa, longitudes muy grandes)			d8	a11 b11 c11 d11			D10	A11 B11 C11 D11
Casos normales de piezas que giran o deslizan		e7 f6	e8 f7			E8 F7	E9 F8	
Piezas que necesitan una guía precisa y giran despacio		g6			G7			
AJUSTES CON APRIETE								
		Agujero base			Eje base			
		H7	H8	H11	h6	h7	h8	h11
Para no transmitir esfuerzo notable y que puedan montarse y desmontarse sin deterioro	Colocación a mano	h6 j6	h7	h11	H7 J7	H8	H8	H11
	Colocación con mazo	k6			K7			
		m6			M7			
		n6			N7			
Para transmitir esfuerzo; desmontaje con deterioro	Colocación con mazo	p6 r6			P7 R7	p6 r6		
	Montaje con prensa o dilatación	r6			R7	U8		
		s6	u7		S7	X7		
		x7			U7	Z7		

A8. Selección del material

1. Estudio de materiales:

Se ha realizado el estudio de selección de materiales sobre el eje primario. Ya que es la pieza que más esfuerzo torsor puede sufrir debido a su engrane con las marchas de 1ª y la marcha atrás, las cuales transmiten el mayor par de todo el mecanismo.

Para este estudio se han asumido las siguientes consideraciones previas.

- Se busca un material cuya densidad y coste relativo sean mínimos dentro de la familia de los metales.
- El momento torsor se considera variable dado que depende de la marcha engranada en cada momento.
- Se ha estimado que el momento torsor se encuentra varios ordenes de magnitud superior a los esfuerzos de tracción y pandeo dada la función de transmisión de par del mecanismo. Como consecuencia, se consideran estos dos últimos despreciables respecto del momento torsor y no se contemplan en este estudio.
- La relación entre el momento torsor y ángulo de giro del eje se considera constante.

El criterio de selección se establece a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Precio = m \cdot C_R \quad \text{Ec A8. 1}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot L \quad \text{Ec A8. 2}$$

$$\frac{\tau}{\theta} = \frac{\left(\frac{\tau}{\theta}\right)_{max}}{S_f} = \frac{G \cdot K_x}{S_f \cdot L} \quad \text{Ec A8. 3}$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad \text{Ec A8. 4}$$

$$K_x = K_0 \cdot \phi_T^r \quad \text{Ec A8. 5}$$

En la Ec A8. 6 se especifica el momento torsor para una sección circular.

$$K_0 = \frac{A^2}{2\pi} \quad \text{Ec A8. 6}$$

En la Ec A8. 7 se puede observar el desarrollo de la ecuación de torsión hasta aislar el área.

$$\frac{\tau}{\theta} = \frac{E \cdot A^2 \cdot \phi_T^r}{(1 + \nu) \cdot 4\pi \cdot S_f \cdot L} \Rightarrow A = \sqrt{\frac{4\pi \cdot S_f \cdot L \cdot (1 + \nu)}{\phi_T^r \cdot E} \cdot \frac{\tau}{\theta}} \quad \text{Ec A8. 7}$$

Sustitución de la Ec A8. 7 en la Ec A8. 2.

$$m = \rho \cdot A \cdot L = \rho \cdot \left(\sqrt{\frac{4\pi \cdot s_f \cdot L \cdot (1 + \nu)}{\phi_T^r \cdot E}} \cdot \frac{\tau}{\theta} \right) \cdot L \quad \text{Ec A8. 8}$$

Separación de la Ec A8. 9 en partes.

$$m = \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\theta} \cdot s_f \cdot \pi} \right) \cdot \left(L^{\frac{3}{2}} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{(1 + \nu)} \cdot \rho}{\sqrt{\phi_T^r \cdot E}} \right) \quad \text{Ec A8. 9}$$

La primera y segunda parte de la ecuación Ec A8. 9 son constantes. Por lo cual, para que la masa sea mínima, nuestras variables se encuentran en el tercer paréntesis, tal y como se aprecia en la Ec A8. 10.

$$m \downarrow \equiv \left(\frac{\sqrt{(1 + \nu)} \cdot \rho}{\sqrt{\phi_T^r \cdot E}} \right) \downarrow \quad \text{Ec A8. 10}$$

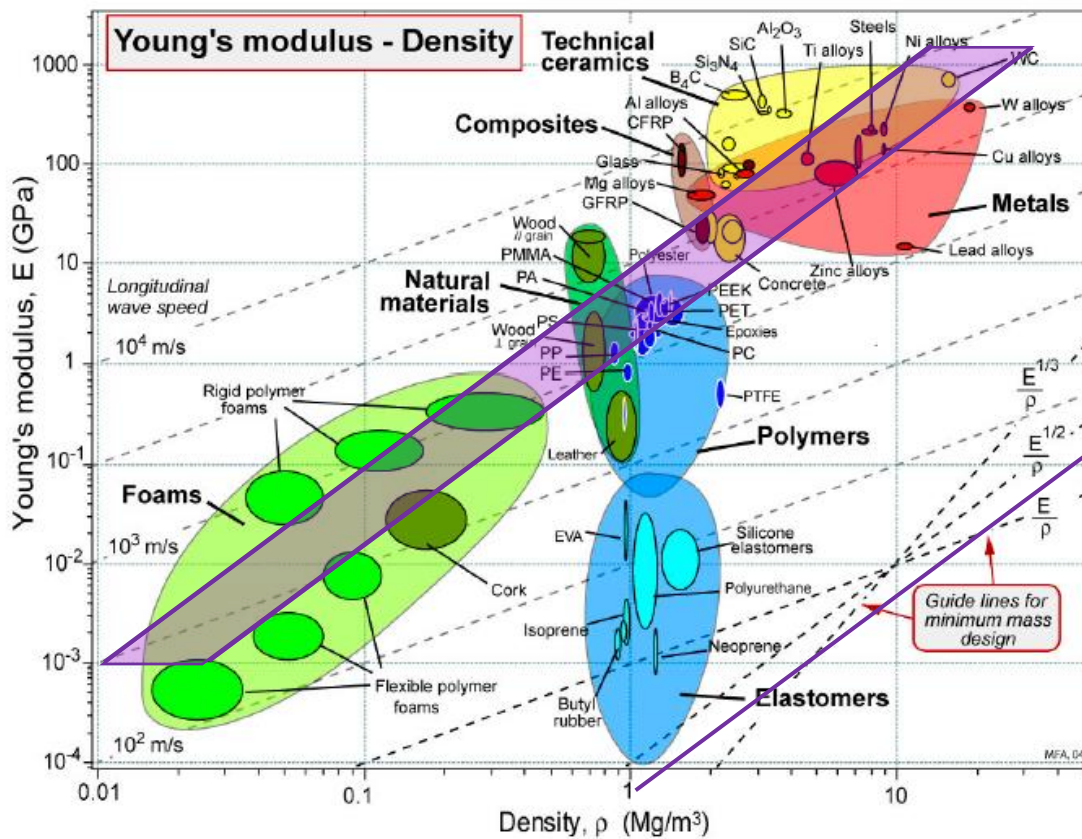
Dada la poca relevancia de la raíz con el coeficiente de Poisson (0,3 para aceros) en la Ec A8. 10, se pueden considerar depreciables. Así como se puede observar en la Ec A8. 11.

$$m \downarrow \equiv \left(\frac{\rho}{\sqrt{\phi_T^r \cdot E}} \right) \downarrow \equiv \left(\frac{\sqrt{\phi_T^r \cdot E}}{\rho} \right) \uparrow \equiv \sqrt{\phi_T^r} \uparrow \cdot \left(\frac{\sqrt{E}}{\rho} \right) \uparrow \quad \text{Ec A8. 11}$$

Para cualquier factor de forma, en nuestro caso, al ser una sección cilíndrica $\phi_T^r = 1$, la relación a utilizar es la mostrada en la Ec A8. 12.

$$\left(\frac{E^{\frac{1}{2}}}{\rho} \right) \uparrow \quad \text{Ec A8. 12}$$

En la Gráfica A8. 1 se puede observar el conjunto de materiales seleccionados según la pendiente de la recta obtenida del desarrollo anterior.



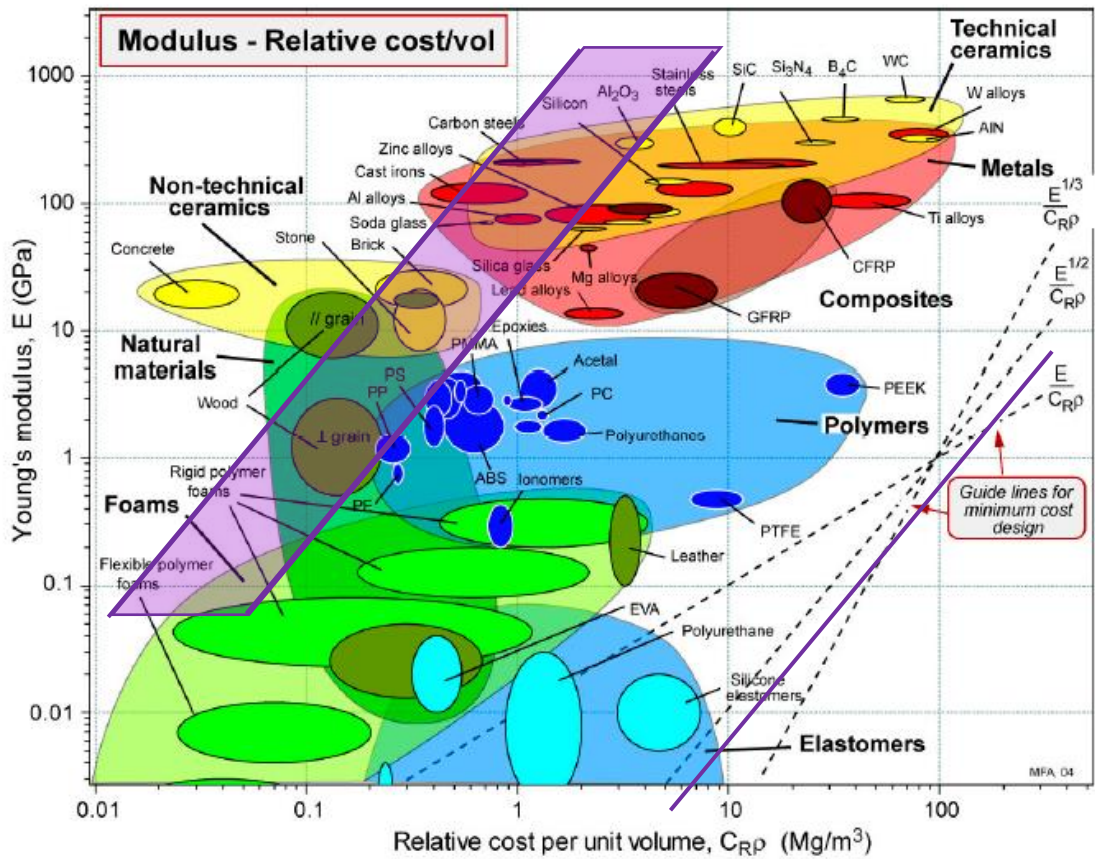
Grafica A8. 1 Correlación entre módulo de Young y densidad

A raíz de la Ec A8. 1 y la Ec A8. 11, se ha obtenido directamente la relación a utilizar, tal y como se puede observar en la Ec A8. 13.

$$\text{Precio} \downarrow = m \downarrow \cdot C_R \Rightarrow \sqrt{\phi_T^r} \uparrow \cdot \left(\frac{\sqrt{E}}{\rho \cdot C_R} \right) \uparrow \quad \text{Ec A8. 13}$$

$$\left(\frac{E^{\frac{1}{2}}}{\rho \cdot C_R} \right) \uparrow \quad \text{Ec A8. 14}$$

En la Grafica A8. 2 se puede observar el conjunto de materiales seleccionados según la pendiente de la recta obtenida del desarrollo anterior.



Grafica A8. 2 Correlación entre módulo de Young y coste relativo por unidad de volumen

Tabla A8. 1 Composición química de la aleación de acero utilizada

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL 18CrNiMo7-6 (1.6587)								
PORCENTAJE	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo
MIN. (%)	0,15		0,50	1,40			1,50	0,25
MÁX. (%)	0,21	0,40	0,90	1,70	0,025	0,035	1,80	0,35

A9. Planos de las piezas trabajadas en el proyecto

PLANOS

PLANOS

PLANOS

PLANOS

PLANOS



PLANOS

PLANOS



Anexo B

En el Anexo B se incluirá la siguiente información:

B1. Preformas

B2. Procesos productivos

B3. Herramientas de corte y hojas de ruta tecnológicas

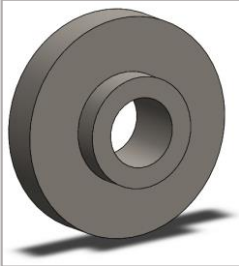

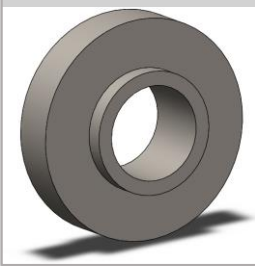

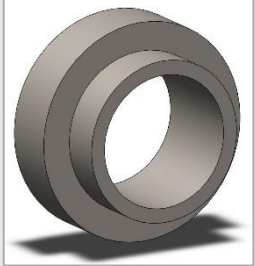
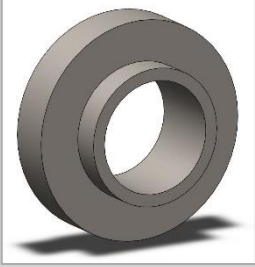



B4. Simulación CAM

B5. Diseño de las líneas productivas

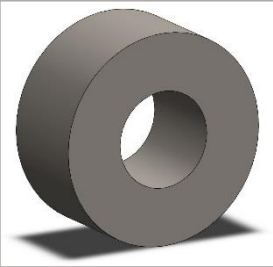

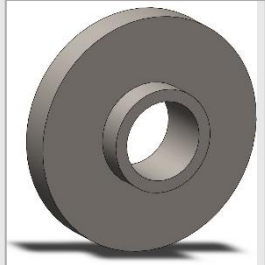

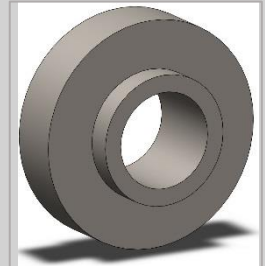

B6. Automatización de las líneas productivas optimizadas

B1. Preformas

B2. Tabla B1. 1 Relación de semiproducto y producto final

RELACIÓN DE SEMIPRODUCTO Y PRODUCTO FINAL			
PIEZA	ORIGEN	SEMIPRODUCTO	PRODUCTO FINAL
1ª cono	Fundición		
2ª cono	Fundición		
3ª cono	Fundición		
4ª cono	Fundición		
5ª cono	Fundición		

5ª plana	Fundición		
Desplazable 1ª – 2ª	Pulvimetalurgia		
Desplazable 3ª – 4ª	Pulvimetalurgia		
Desplazable 5ª – M.A.	Pulvimetalurgia		
Eje primario	Fundición		
Eje secundario	Fundición		

Engranaje secundario	Fundición		
Marcha atrás cono	Fundición		
Marcha atrás plana	Fundición		

B2. Procesos productivos

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est		Hoja de ruta tecnológica									
Denominación pieza:		Elaborado por:		SEMI-PRODUCTO			PRODUCTO FINAL				
Nº plano:		Fecha:									
Material:		Revisión:									
Semi-producto:											
Nº Fase	Croquis	Nº Máquina - Tipo	Descripción fase	Soporte	Ref. herramienta	Esquema herr.	S (m/m/s)	F (m/m/min)	P (mm)	T _{tot} (seg)	Tratamientos
1.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
2.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
3.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
4.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
5.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
6.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
7.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
8.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
9.		TIP.					DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO	DESBASTE ACABADO		
TIEMPO TOTAL (min):											0:00

TRATAMIENTO TÉRMICO (II)									
Nº Fase	Croquis	TRATAMIENTO	Descripción fase	TIPO TERMOFAR	TEMPERATURA	AGITACIÓN			Tratamientos
						MÉTODO	TIPO AGITACIÓN	TIEMPO REPOSO	Final
TRAT11	TRATAMIENTO TÉRMICO	CARBONITRURACIÓN	TRATAMIENTO TÉRMICO DE CARBONITRURACIÓN EN TEMPERATURA Y TIEMPO DE ENFRIADO ESPECIFICADO						
TRAT12		TEMPLADO	TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLADO EN TEMPERATURA Y TIEMPO DE ENFRIADO ESPECIFICADO						
TRAT13		LAVADO	LAVADO DE LAS PIEZAS PREVIO AL REVENIDO						
TRAT14		REVENIDO	TRATAMIENTO TÉRMICO DE REVENIDO EN TEMPERATURA Y TIEMPO DE ENFRIADO ESPECIFICADO						

Imagen B2. 1 Plantilla hoja de ruta tecnológica

Tabla B2. 1 Maquinaria y tipo de máquina utilizado en el proceso productivo

MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PROCESO PRODUCTIVO			
MÁQUINA	TIPO MÁQUINA	Nº USILLOS	Nº TORRETAS
TORNO	TIP. A	1	1
TORNO	TIP. B	2	1
FRESADORA	TIP. A	1	1
LAMINADORA	TIP. A	1	1
ACHAFLANADORA	TIP. A	1	1
RECTIFICADORA	TIP. A	1	1

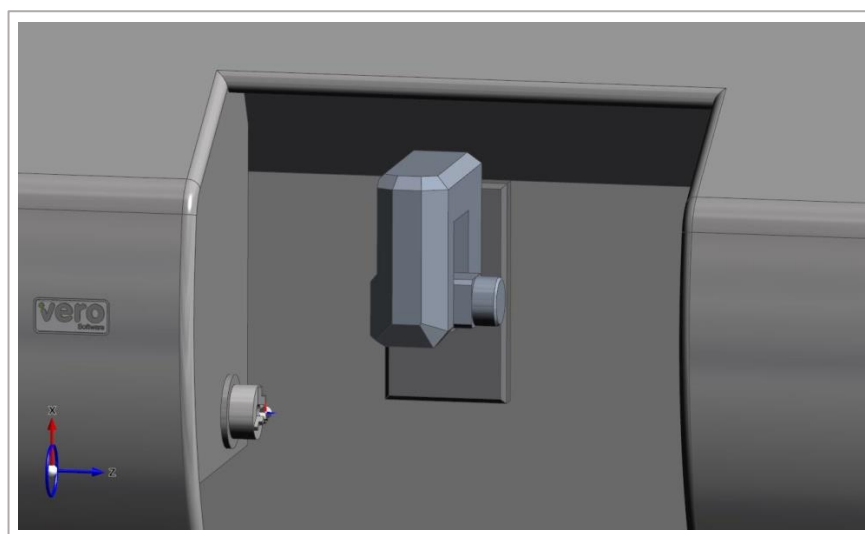


Imagen B2. 2 Detalle de los ejes para el torno seleccionado en el proyecto

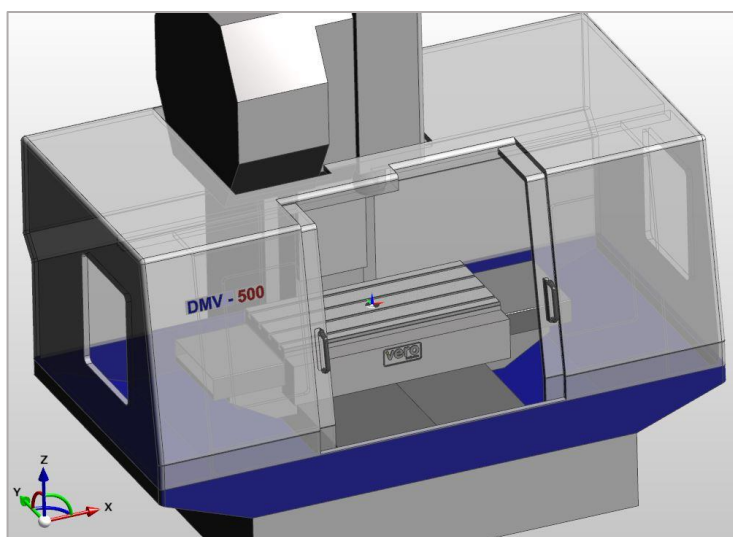


Imagen B2. 3 Detalle de los ejes de una fresadora

Tabla B2. 2 Características de la garra autocentrante utilizada en el proyecto

CARACTERÍSTICAS GARRA AUTOCENTRANTE	
Base de garra	
Nombre	8 inch 3 Jaw Bison Scroll Chucks
Longitud	78 mm
Diámetro	200 mm
Diámetro del agujero	55 mm
Diámetro de las garras	140 mm
Distancia máxima de agarre	152,4 mm
Garra	
Número de garras	3
Longitud	54 mm
Anchura	25 mm
Altura	84,3 mm
Angulo de la primera garra	0
Reversible	No

Tabla B2. 3 Tratamiento térmico para ejes

TRATAMIENTO TERMICO EJES							
TRATAMIENTO	Descripción fase	TIPO TERMOPAR	TEMPERATURA	AGITACION			T _{total maq.} (min)
				MEDIO	TIPO AGITACION	TIEMPO REPOSO	
CARBONITRURACION	Tratamiento térmico de carbonitruración en temperatura y medio de enfriado especificado	K (NiCrNi)	TEMPERATURA MEDIA: 917,5°C ±10°C				14
TEMPLADO	Tratamiento térmico de templado en temperatura y medio de enfriado especificado	J (FeCuNi)	130°C ±5°C	ACEITE	LENTA	0"	
LAVADO	Lavado de las piezas previo al revenido		50°C - 60°C				
REVENIDO	Tratamiento térmico de revenido en temperatura y medio de enfriado especificado	K (NiCrNi)	160°C ±10°C				

Tabla B2. 4 Tratamiento térmico para engranajes

TRATAMIENTO TERMICO ENGRANAJES							
TRATAMIENTO	Descripción fase	TIPO TERMOPAR	TEMPERATURA	AGITACION			Total maq. (min)
				MEDIO	TIPO AGITACION	TIEMPO REPOSO	
CARBONITRURACION	Tratamiento térmico de <u>carbonitruración</u> en temperatura y medio de enfriado especificado	K (<u>NiCrNi</u>)	TEMPERATURA MEDIA: 900°C ±10°C				7
TEMPLADO	Tratamiento térmico de templado en temperatura y medio de enfriado especificado	J (<u>FeCuNi</u>)	130°C ±5°C	ACEITE	RAPIDA	5"	
LAVADO	Lavado de las piezas previo al revenido		50°C - 60°C				
REVENIDO	Tratamiento <u>termico</u> de revenido en temperatura y medio de enfriado especificado	K (<u>NiCrNi</u>)	160°C ±10°C				

B3. Herramientas de corte y hojas de ruta tecnológicas

B4. **Tabla B3. 1** Categorías de los materiales según la norma ISO

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
P1.1.Z.AN	1	1 $\leq 0.25\% \text{ C}$	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	125 HB	1500	0.25
P1.1.Z.HT	1		Z	HT endurecido+revenido	190 HB	1770	0.25
P1.2.Z.AN	1		Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	190 HB	1700	0.25
P1.2.Z.HT	1		Z	HT endurecido+revenido	210 HB	1820	0.25
P1.3.Z.AN	1	2 $> 0.25... \leq 0.55\% \text{ C}$	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	190 HB	1750	0.25
P1.3.Z.HT	1		Z	HT endurecido+revenido	300 HB	2000	0.25
P1.4.Z.AN	1	3 alto contenido de carbono, $> 0.55\% \text{ C}$	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	220 HB	1180	0.21
P1.5.C.HT	1	4 acero de fácil mecanizado	Z	AN recocido	220 HB	1180	0.21
P1.5.C.AN	1	5 cualquier contenido de carbono (fundición)	C fundición	HT sin tratar	150 HB	1400	0.25
P2.1.Z.AN	2	5 cualquier contenido de carbono (fundición)	C	AN endurecido+revenido	300 HB	2880	0.25
P2.2.Z.AN	2	1 $\leq 0.25\% \text{ C}$	Z	AN recocido	175 HB	1700	0.25
P2.3.Z.AN	2		Z forjado/laminado/estirado en frío	AN	240 HB	1950	0.25
P2.4.Z.AN	2		Z	AN	260 HB	2020	0.25
P2.5.Z.HT	2		Z	AN	225 HB		
P2.6.C.UT	2	3 alto contenido de carbono, $> 0.55\% \text{ C}$	Z forjado/laminado/estirado en frío	HT endurecido+revenido	330 HB	2000	0.25
P2.6.C.HT	2	4 acero de fácil mecanizado	C fundición	UT sin tratar	200 HB	1600	0.25
P3.0.Z.AN	3	6 cualquier contenido de carbono (fundición)	C	HT endurecido+revenido	380 HB	3200	0.25
P3.0.Z.HT	3	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1950	0.25
P3.0.C.UT	3		Z	HT endurecido+revenido	380 HB	3100	0.25
P3.0.C.HT	3		C fundición	UT sin tratar	200 HB	1950	0.25
P3.1.Z.AN	3		C	HT endurecido+revenido	340 HB	3040	0.25
P3.2.C.AQ	3	1 HSS	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	250 HB	2360	0.25
P4.0.S.NS	4	2 acero al manganeso	C fundición	AQ recocido/templado con agua o recocido	300 HB	3000	0.25
P5.0.Z.AN	5	0 grupo principal	S sinterizado	NS sin especificar	150 HB		
P5.0.Z.HT	5	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1800	0.21
P5.0.Z.PH	5		Z	HT endurecido+revenido	330 HB	2300	0.21
P5.0.C.UT	5		C fundición	PH templado por precipitación	330 HB	2800	0.21
P5.0.C.HT	5		C	UT sin tratar	250 HB	1900	0.25
P5.1.Z.AN	5	1 acero de fácil mecanizado	Z forjado/laminado/estirado en frío	HT endurecido+revenido	330 HB	2100	0.25
M1.0.Z.AQ	1	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1650	0.21
M1.0.Z.PH	1		Z	AQ recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21
M1.0.C.UT	1		C fundición	PH templado por precipitación	300 HB	2400	0.21
M1.1.Z.AQ	1		C	UT sin tratar	200 HB	1800	0.25
M1.1.Z.AQ	1	1 maquinabilidad mejorada (como SANMAC)	Z forjado/laminado/estirado en frío	HT endurecido+revenido	330 HB	2100	0.25
M1.1.Z.AQ	1	2 acero de fácil mecanizado	Z	AQ recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21
M1.3.Z.AQ	1	3 estabilizado Ti	Z	AQ	200 HB	1800	0.21
M1.3.C.AQ	1	3	C fundición	AQ	200 HB	1800	0.25
M2.0.Z.AQ	2	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	200 HB	2300	0.21
M2.0.C.AQ	2		C fundición	AQ	200 HB	2150	0.25
M3.1.Z.AQ	3	1 $> 60\% \text{ ferrita (regla práctica } N < 0.10\%)$	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	230 HB	2000	0.21
M3.1.C.AQ	3	1	C fundición	AQ	230 HB	1800	0.25
M3.2.Z.AQ	3	2 $< 60\% \text{ ferrita (regla práctica } N \geq 0.10\%)$	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	260 HB	2400	0.21
M3.2.C.AQ	3	2	C fundición	AQ	260 HB	2200	0.25

Código MC	Grupo de mate- riales		Subgrupo de materiales		Proceso de fabri- cación		Tratamiento térmico		nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
K1.1.C.NS	1	maleable	1	baja resist. a la tracción	C	fundición	NS	sin especificar	200 HB	780	0.28
K1.2.C.NS	1		2	alta resist. a la tracción	C		NS		260 HB	1020	0.28
K2.1.C.UT	2	gris	1	baja resist. a la tracción	C	fundición	UT	sin tratar	180 HB	900	0.28
K2.2.C.UT	2		2	alta resist. a la tracción	C		UT		245 HB	1100	0.28
K2.3.C.UT	2		3	austenítico	C		UT		175 HB	1300	0.28
K3.1.C.UT	3	nodular	1	ferrítico	C	fundición	UT	sin tratar	155 HB	870	0.28
K3.2.C.UT	3		2	ferrítico/perlítico	C		UT		215 HB	1200	0.28
K3.3.C.UT	3		3	perlítico	C		UT		265 HB	1440	0.28
K3.4.C.UT	3		4	martensítico	C		UT		330 HB	1650	0.28
K3.5.C.UT	3		5	austenítico	C		UT		190 HB		
K4.1.C.UT	4	CGI	1	baja resist. a la tracción (perlita <90%)	C	fundición	UT	sin tratar	160 HB	680	0.43
K4.2.C.UT	4		2	alta resist. a la tracción (perlita ≥90%)	C		UT		230 HB	750	0.41
K5.1.C.NS	5	ADI	1	baja resist. a la tracción	C	fundición	NS	sin especificar	300 HB		
K5.2.C.NS	5		2	alta resist. a la tracción	C		NS		400 HB		
K5.3.C.NS	5		3	muy alta resist. a la tracción	C		NS		460 HB		
N1.1.Z.UT	1	aleaciones con base de aluminio	1	comercial puro	Z	fundición	UT	sin tratar	30 HB	350	0.25
N1.2.Z.UT	1		2		Z		UT		60 HB	400	0.25
N1.2.Z.AG	1		2		Z		AG		envejecido	100 HB	650
N1.2.S.UT	1		2	aleaciones AlSi, Si ≤1%	S	sinterizado	UT	sin tratar	75 HB	410	0.25
N1.2.C.NS	1		2		C	fundición	NS	sin especificar	80 HB	410	0.25
N1.3.C.UT	1		3	aleaciones de fundición AlSi, Si ≤1% y <13%	C		UT	sin tratar	75 HB	600	0.25
N1.3.C.AG	1		3		C		AG	envejecido	90 HB	700	0.25
N1.4.C.NS	1		4	aleaciones de fundición AlSi, Si ≥13%	C		NS	sin especificar	130 HB	700	0.25
N2.0.C.UT	2	aleaciones con base de magnesio	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	70 HB		
N3.1.U.UT	3	aleaciones con base de cobre	1	aleaciones de cobre sin plomo (incl. cobre electrolítico)	U	sin especificar	UT	sin tratar	100 HB	1350	0.25
N3.2C.UT	3		2	latón y bronce al plomo (Pb ≤1%)	C	fundición	UT		90 HB	550	0.25
N3.3.S.UT	3		2		S	sinterizado	UT		35 HB		
N3.3.U.UT	3		3	aleaciones de fácil mecanizado con base de cobre (Pb >1%)	U	sin especificar	UT		110 HB	550	0.25
N3.4.C.UT	3		4	bronce de alta resisten- cia (>225HB)	C	fundición	UT		300 HB		
N4.0.C.UT	4	aleaciones con base de zinc	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	70 HB		

Código MC	Grupo de materiales		Subgrupo de materiales		Proceso de fabricación		Tratamiento térmico		nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
S1.0.U.AN	1	aleaciones sin base	1	grupo principal	U	sin especificar	AN	recocido	200 HB	2400	0.25
S1.0.U.AG	1		2		U		AG	envejecido	280 HB	2500	0.25
S2.0.Z.AN	2	aleaciones con base de níquel	0	grupo principal	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	250 HB	2650	0.25
S2.0.Z.AG	2		0		Z		AG	envejecido	350 HB	2900	0.25
S2.0.Z.UT	2		0		Z		UT	sin tratar	275 HB	2750	0.25
S2.0.C.NS	2		0		C	fundición	NS	sin especificar	320 HB	3000	0.25
S3.0.Z.AN	3	aleaciones con base de cobalto	0	grupo principal	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	200 HB	2700	0.25
S3.0.Z.AG	3		0		Z		AG	envejecido	300 HB	3000	0.25
S3.0.C.NS	3		0		C	fundición	NS	sin especificar	320 HB	3100	0.25
S4.1.Z.UT	4	aleaciones con base de titanio	1	comercial puro (>99.5% Ti)	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	UT	sin tratar	200 HB	1300	0.23
S4.2.Z.AN	4		2	aleaciones alfa y casi alfa	Z		AN	recocido	320 HB	1400	
S4.3.Z.AN	4		3	aleaciones alfa/beta	Z		AN		330 HB	1400	
S4.3.Z.AG	4		3	aleaciones beta	Z		AG	envejecido	375 HB	1400	
S4.4.Z.AN	4		4		Z		AN	recocido	330 HB	1400	
S4.4.Z.AG	4		4		Z		AG	envejecido	410 HB	1400	
S5.0.U.NS	3	base de tungsteno	0	grupo principal	U	sin especificar	NS	sin especificar	120 HB		
S6.0.U.NS	3	base de molibdeno	0	grupo principal	U	sin especificar	NS	sin especificar	200 HB		
H1.1.Z.HA	1	aceros (extra duros)	1	Nivel de dureza 50	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	HA	endurecido (+revenido)	50 HRc	3090	0.25
H1.2.Z.HA	1		2	Nivel de dureza 55	Z		HA		55 HRc	3690	0.25
H1.3.Z.HA	1		3	Nivel de dureza 60	Z		HA		60 HRc	4330	0.25
H1.4.Z.HA	1		4	Nivel de dureza 63	Z		HA		63 HRc	4750	0.25
H2.0.C.UT	2	fundición en coquilla	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	55 HRc	3450	0.28
H3.0.C.UT	3	fundición en coquilla	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin especificar	40 HRc		
H4.0.S.AN	4	fundición en coquilla	0	grupo principal	S	sinterizado	AN	recocido	67 HRc		

Tabla B3. 2 Características de las herramientas en función de las propiedades de corte utilizadas durante el proceso



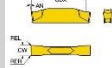
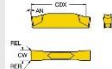
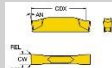
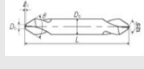
CARACTERÍSTICAS DE LAS HERRAMIENTAS EN FUNCIÓN CARACTERÍSTICAS DE CORTE									
Ref. herramienta	Utilidad	Velocidad de corte (S [m/min])		Avance (F[mm/rev])		Profundidad de corte (p[mm])		Angulo de corte (°)	Esquema herramienta
		DESB.	ACAB.	DESB.	ACAB.	DESB.	ACAB.		
CNMG 12 04 04 WF 2015	Cilindrado exterior y refrentado	230	275	0,25	0,15	2	0,5	80	
DNMX 11 04 04 WF 2015	Cilindrado interior	210	260	0,3	0,2	1,5	0,5	55	
N123K2-0600-0002-GF 2135 (H)	Ranurado horizontal	Desbaste 90		Desbaste 0,11		6		-	
N123K2-0600-0002-GF 2135 (V)	Ranurado vertical	Desbaste 90		Desbaste 0,11		1,5		-	
N123D2-0150-0001-GF 1125	Ranurado vertical	Acabado 120		Acabado 0,08		1,5		-	
PE016S	Agujero	Acabado 90		Acabado 0,1		11,3		125	

Tabla B3. 3 Características de forma de las herramientas utilizadas durante el proceso



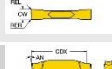
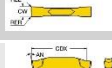
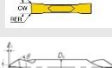

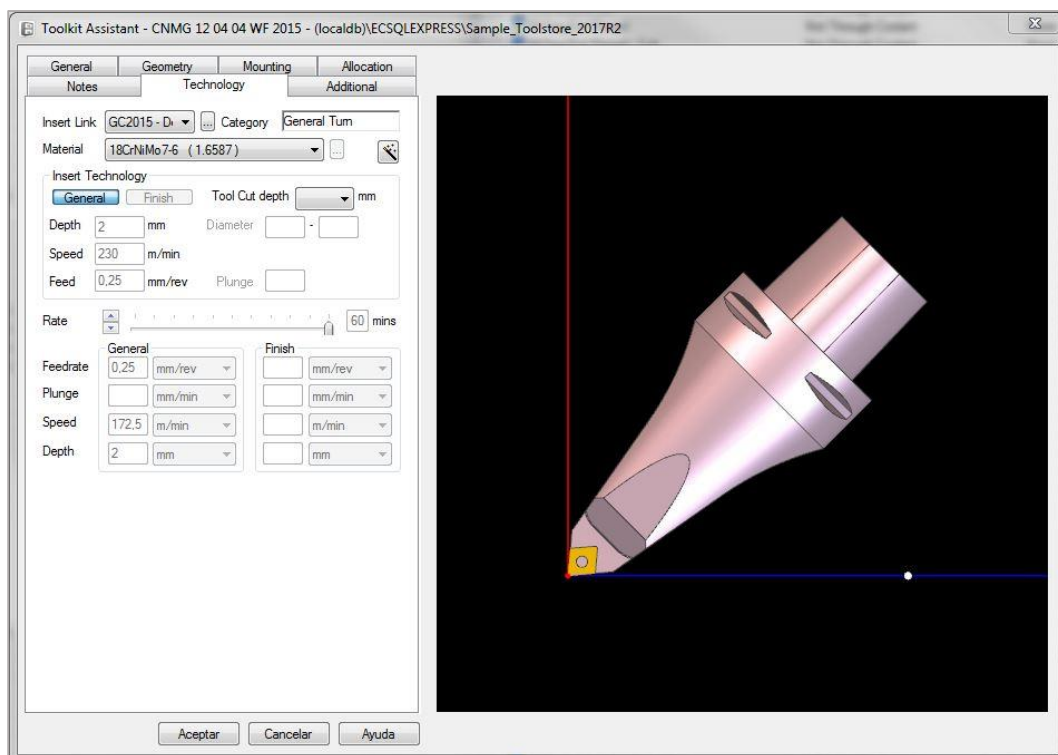
CARACTERÍSTICAS DE FORMA DE LAS HERRAMIENTAS						
Ref. herramienta	Radio de punta	Grosor de plaquita	Diámetro círculo inscrito	Longitud efectiva del filo	Angulo de corte (°)	Esquema herramienta
CNMG 12 04 04 WF 2015	0,397	4,763	12,7	12,496	80	
DNMX 11 04 04 WF 2015	0,397	4,763	9,525	11,228	55	
N123K2-0600-0002-GF 2135 (H)	0,2	6	-	24,4	-	
N123K2-0600-0002-GF 2135 (V)	0,2	6	-	24,4	-	
N123D2-0150-0001-GF 1125	0,1	1,5	-	13,3	-	
PE016S	16	90	-	26	125	

Tabla B3. 4 Tipos de herramientas para las operaciones no simuladas

HERRAMIENTAS OPERACIONES NO SIMULADAS				
Operación	Herramienta	Código herramienta	Modulo	Esquema herramienta
Dentado	Fresa madre	G90 HOBS	Módulos según Tabla 2.2	
Laminado	Cremallera	-	Según dentado eje	
Achaflanado	Achaflanar	-	Módulos según Tabla 2.2	
Rectificado	Rectificado dentado		Módulos según Tabla 2.2	

**Imagen B3. 1** Detalle de las características de desbaste de la herramienta CNMG 12 04 04 WF 2015

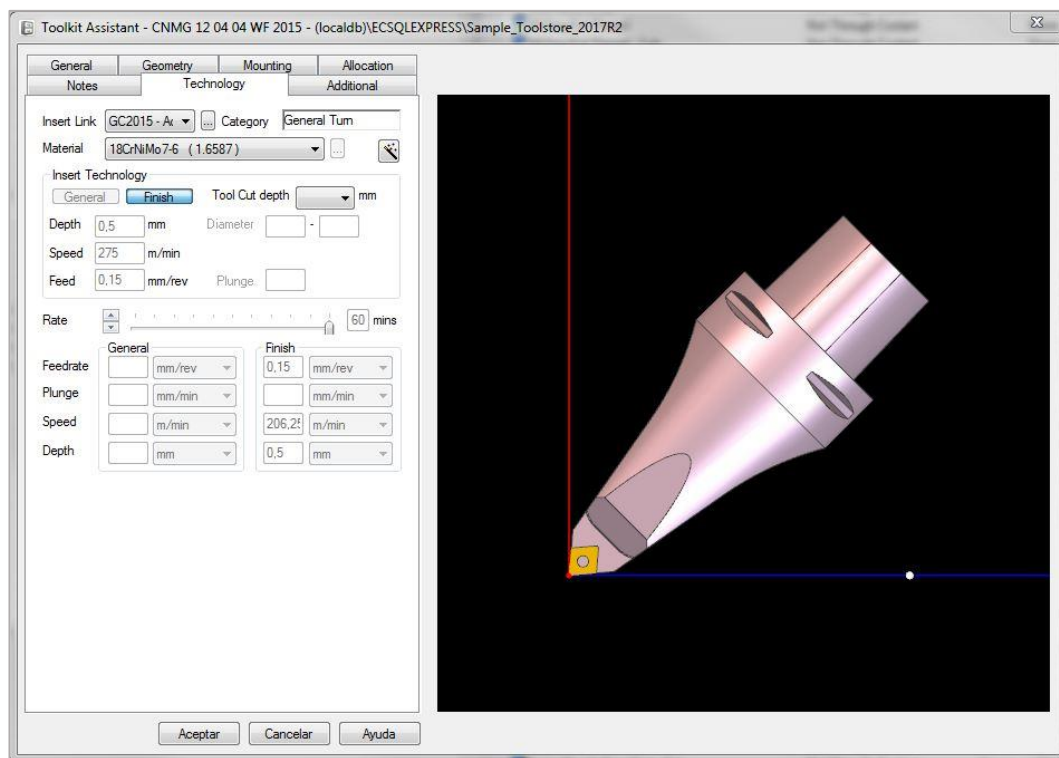


Imagen B3. 2 Detalle de las características de acabado de la herramienta CNMG 12 04 04 WF 2015

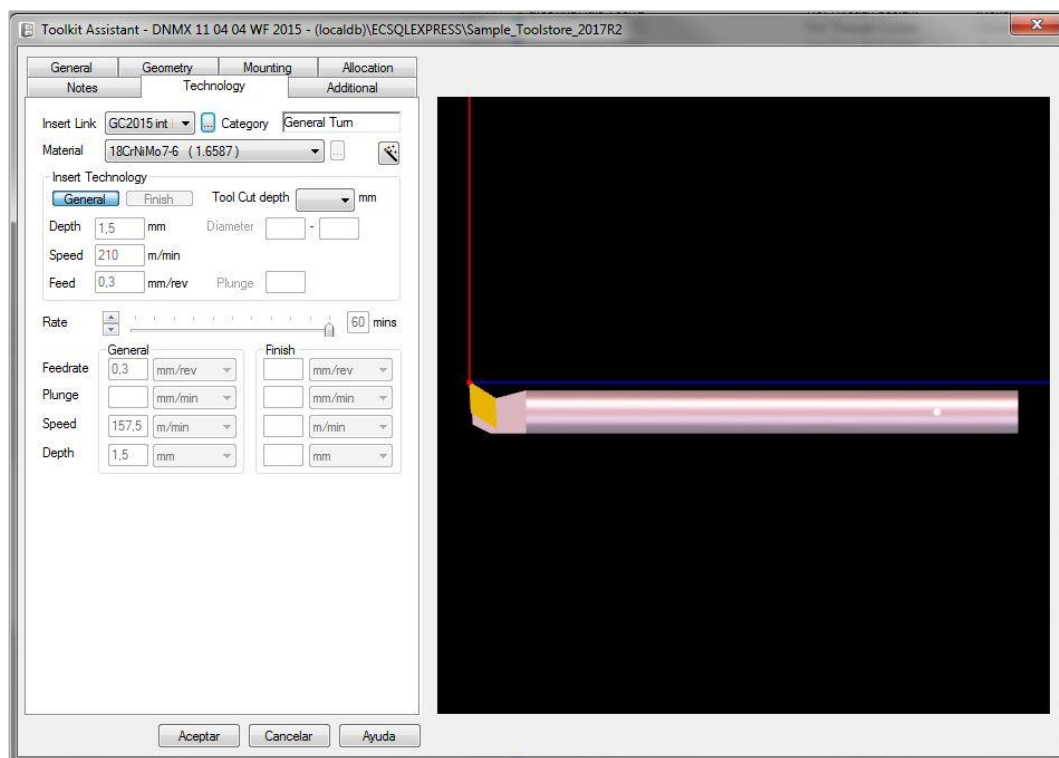


Imagen B3. 3 Detalle de las características de desbaste de la herramienta DNMX 1104 04 WF 2015

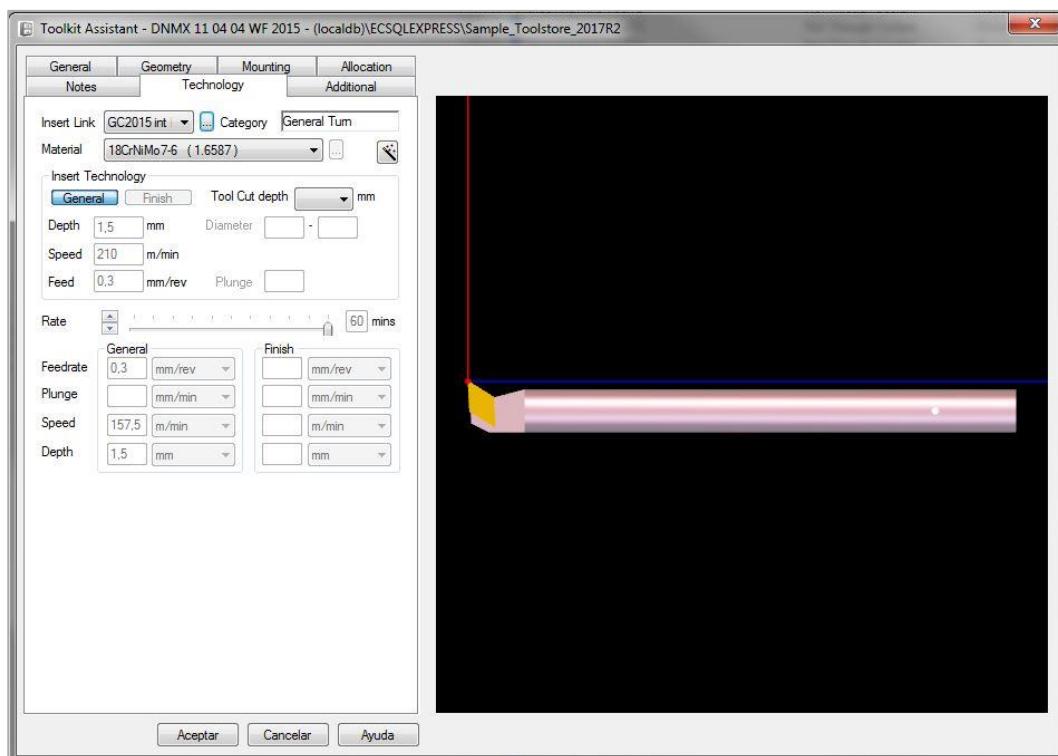


Imagen B3. 4 Detalle de las características de acabado de la herramienta DNMX 1104 04 WF 2015

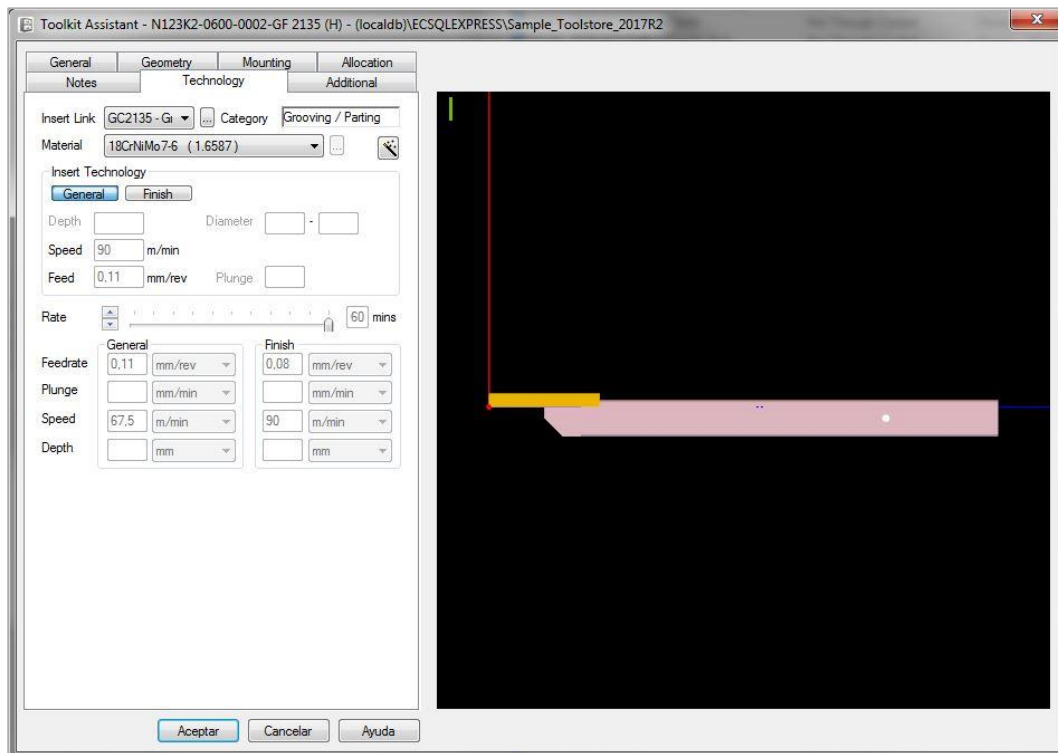


Imagen B3. 5 Detalle de las características de desbaste de la herramienta N123K2-0600-0002-GF 2135 (H)

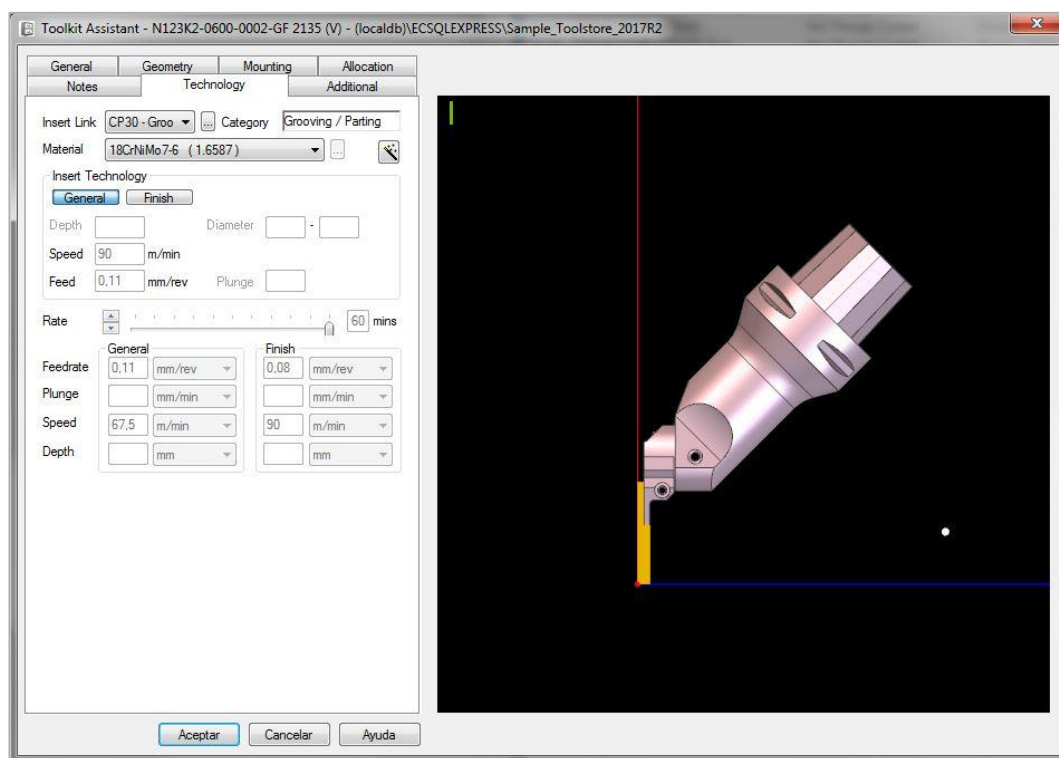


Imagen B3. 6 Detalle de las características de desbaste de la herramienta N123K2-0600-0002-GF 2135 (V)

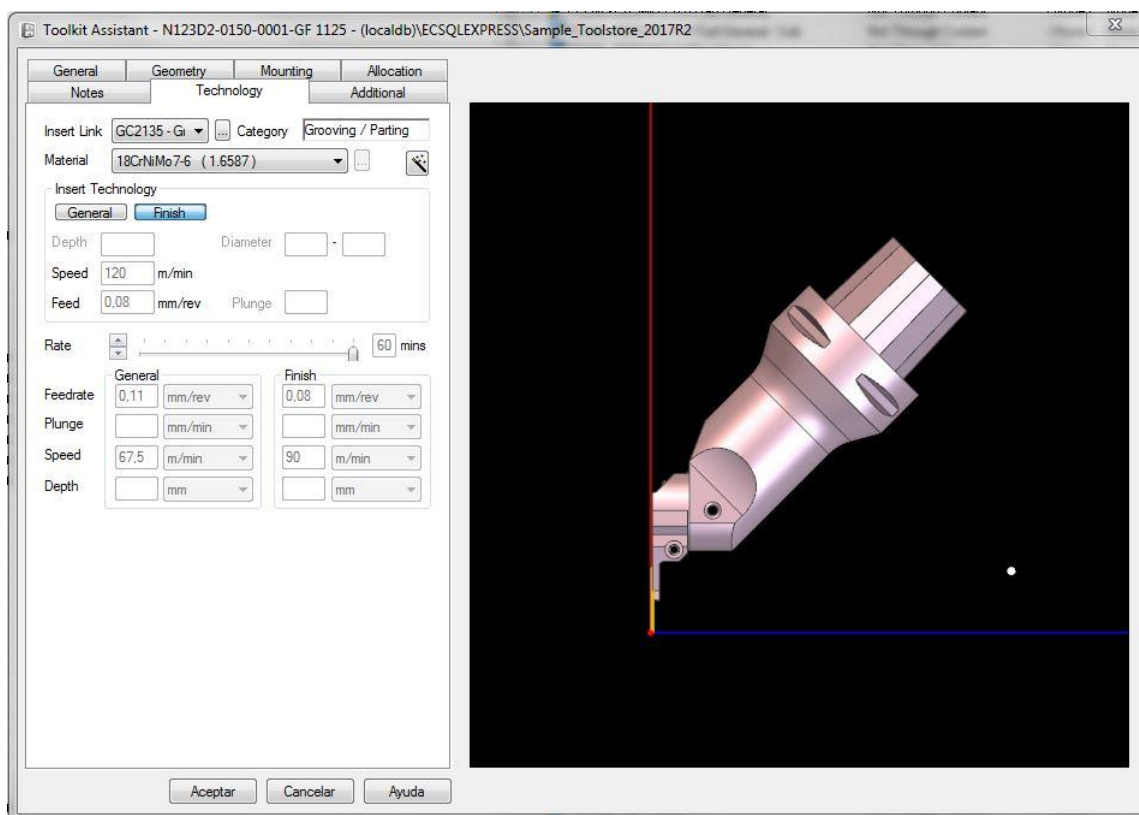


Imagen B3. 7 Detalle de las características de acabado de la herramienta N123K2-0150-0001-GF 1125

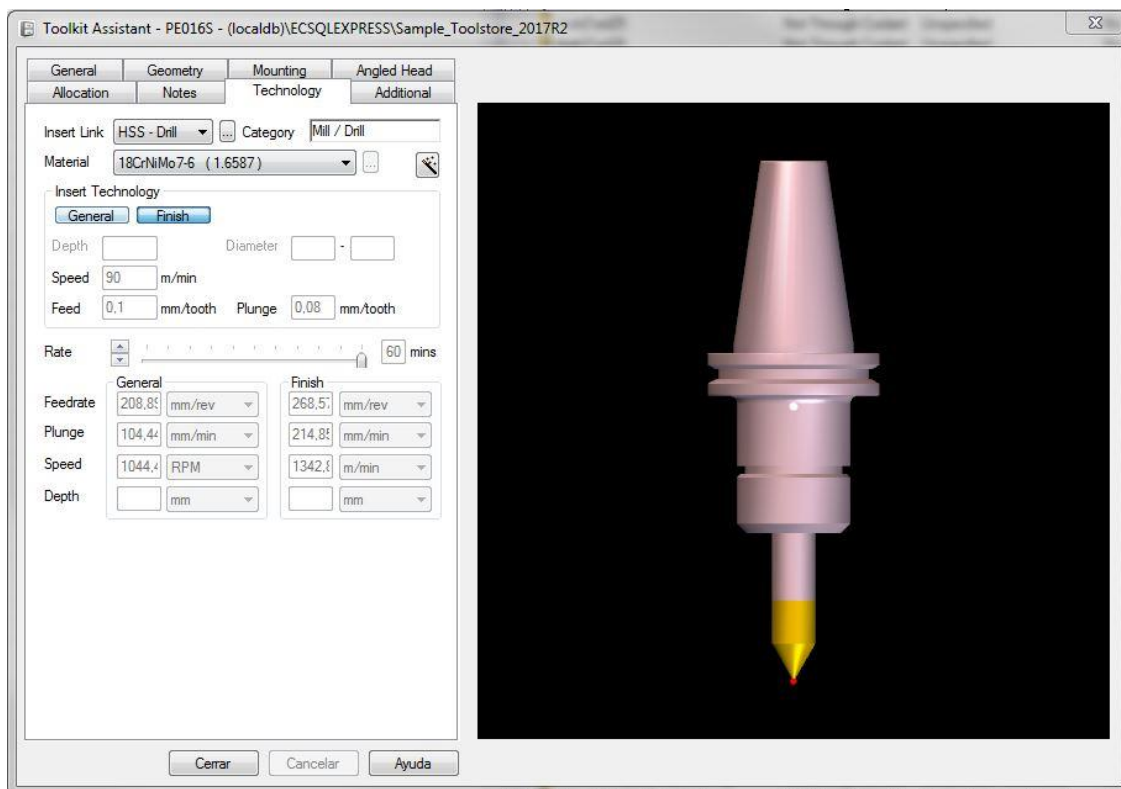


Imagen B3. 8 Detalle de las características de acabado de la herramienta PE016S

Tabla B3. 5 Determinación del factor de corrección

CORRECCIÓN VIDA ÚTIL	
VIDA HERRAMIENTA (min)	FACTOR DE CORRECCIÓN
10	1,11
15	1,0
20	0,93
25	0,88
30	0,84
45	0,75
60	0,70

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



HOJAS DE RUTA

HOJAS DE RUTA



B4. Simulación CAM

```

Turret No. : 0      Zset : 147.000  Xset : 25.000  Description : N123K2-0600-0002-GF 2135 (V)
Turret No. : 0      Zset : 147.000  Xset : 25.000  Description : N123D2-0150-0001-GF 1125
!
%
O001
G21G80 G40G54 G18
G10 L2 P1 X0.0 Y0.0 Z122.8 (MainSpindle0)
G10 T0000 X25.0 Z147.0 I0.2 K0.2
G10 T0000 X25.0 Z147.0 I0.1 K0.1
G54 (N123K2-0600-0002-GF 2135 (V))
G0 T0000
M46
M68
G96 S68 M3
T0000
G18
M69
G00 Z-15.2 M8
G99 X102.0
G01 X90.4 F0.11 T0000
G00 X102.0
Z-15.3
G01 X90.4
G00 X102.0
Z-15.2
G49
G28 U0.0 M5 M9
G28 W0.0
G54 (N123D2-0150-0001-GF 1125)
G0 T0000
M46
M68
G96 S220 M3
T0000
M69
G00 X110.0 M8
G99 Z-9.0
Z-10.5
X102.8
G01 X99.8 F0.08 S90
X90.0
Z-13.1
Z-14.6
G00 X102.8
Z-15.5
G01 X99.8
X90.0
Z-12.9
Z-11.4
G00 X102.8
G49
G28 U0.0 M5 M9
G28 W0.0
M30
%
```

Imagen B4. 1 Ejemplo del código CNC para el desplazable 1a-2a en el TOR1

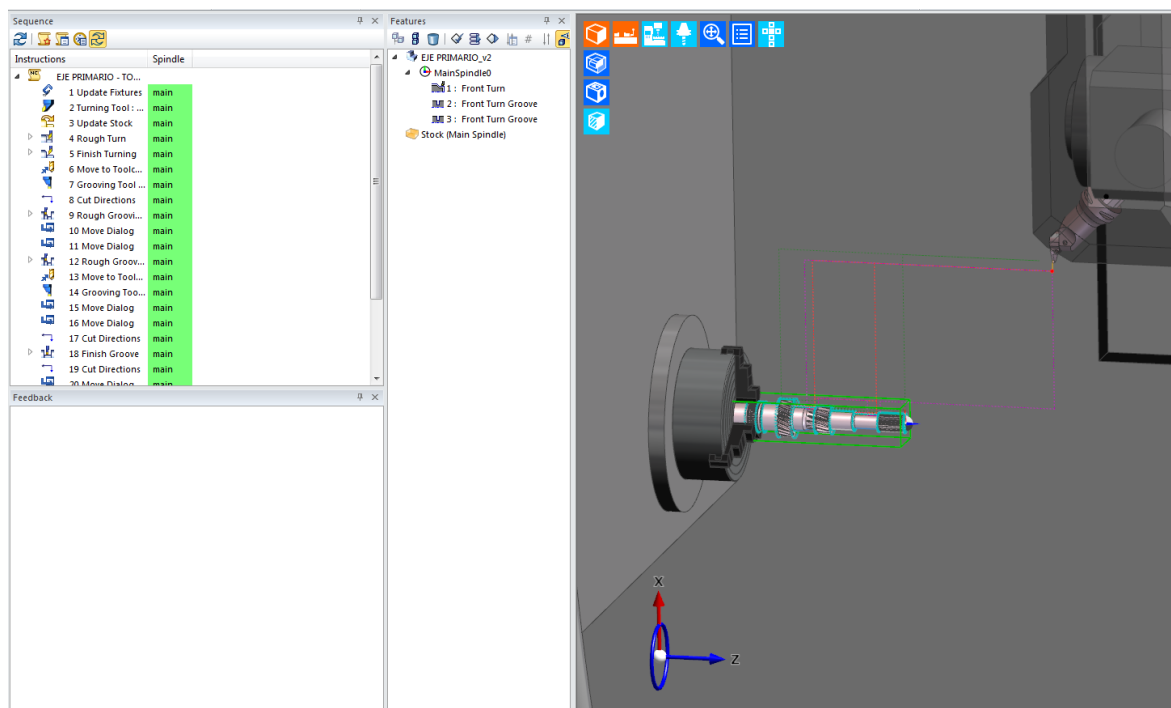


Imagen B4. 2 Proceso simulado en Edgecam: EJE PRIMARIO - TOR2

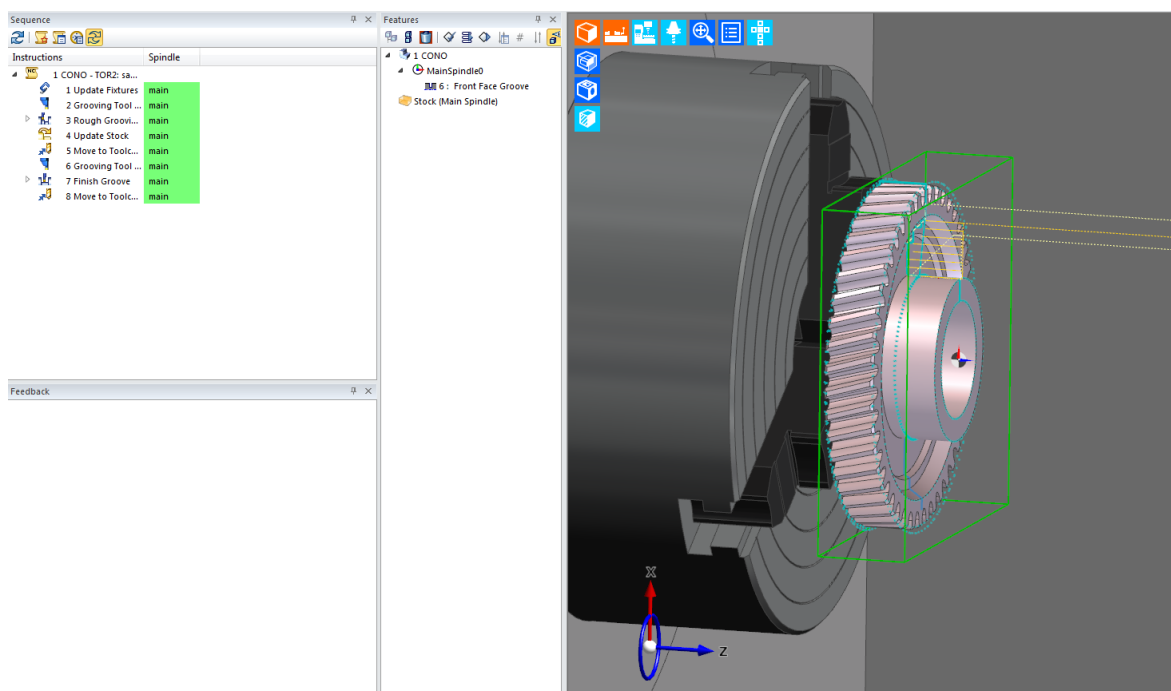


Imagen B4. 3 Proceso simulado en Edgecam: 1 CONO - TOR2

B5. Diseño de las líneas productivas

B6. Tabla B5. 1 Detalle de todos los tiempos por cada operación realizada

RESUMEN DE LAS OPERACIONES Y EL TIEMPO POR OPERACIÓN				
RUTA	ACTIVIDAD	PIEZA	OPERACIÓN	DURACIÓN
1	A	EJE PRIMARIO	TOR 1	1,2
	B	EJE PRIMARIO	TOR 2	4,6
	C	EJE PRIMARIO	TOR 3	4,2
	D	EJE PRIMARIO	FRES 1	3,1
	E	EJE PRIMARIO	FRES 2	1,4
	F	EJE PRIMARIO	LAM 1	0,5
	G	EJE PRIMARIO	ACHAFLA 1	0,6
	H	EJE PRIMARIO	ACHAFLA 2	0,6
	I	EJE PRIMARIO	ACHAFLA 3	0,6
	J	EJE PRIMARIO	T. TERMICOS	14,0
	K	EJE PRIMARIO	RECT 1	0,3
	L	EJE PRIMARIO	RECT 2	0,3
	M	EJE PRIMARIO	RECT 3	0,3
2	N	EJE SECUNDARIO	TOR 1	2,2
	O	EJE SECUNDARIO	TOR 2	2,3
	P	EJE SECUNDARIO	TOR 3	6,5
	Q	EJE SECUNDARIO	FRES 1	0,8
	R	EJE SECUNDARIO	LAM 1	0,3
	S	EJE SECUNDARIO	ACHAFLA 1	0,3
	T	EJE SECUNDARIO	ACHAFLA 2	0,3
	U	EJE SECUNDARIO	T. TERMICOS	14,0
	V	EJE SECUNDARIO	RECT 1	0,4
3	W	EJE SECUNDARIO	RECT 2	0,4
	X	1ª CONO	TOR 1	3,3
	Y	1ª CONO	TOR 2	4,3
	Z	1ª CONO	TOR 3	0,5
	A1	1ª CONO	FRES 1	1,7
	B1	1ª CONO	ACHAFLA 1	1,2
	C1	1ª CONO	T. TERMICOS	7,0
	D1	1ª CONO	RECT 1	2,4
4	E1	2ª CONO	TOR 1	3,2
	F1	2ª CONO	TOR 2	3,1
	G1	2ª CONO	TOR 3	0,5
	H1	2ª CONO	FRES 1	1,5
	I1	2ª CONO	ACHAFLA 1	1,0
	J1	2ª CONO	T. TERMICOS	7,0
	K1	2ª CONO	RECT 1	2,0
5	L1	3ª CONO	TOR 1	3,0
	M1	3ª CONO	TOR 2	0,8
	N1	3ª CONO	FRES 1	1,0
	O1	3ª CONO	ACHAFLA 1	0,7
	P1	3ª CONO	T. TERMICOS	7,0
	Q1	3ª CONO	RECT 1	1,4
6	R1	4ª CONO	TOR 1	3,1
	S1	4ª CONO	TOR 2	0,4
	T1	4ª CONO	FRES 1	1,2
	U1	4ª CONO	ACHAFLA 1	0,8
	V1	4ª CONO	T. TERMICOS	7,0
	W1	4ª CONO	RECT 1	1,6
7	X1	5ª CONO	TOR 1	2,8
	Y1	5ª CONO	TOR 2	0,6
	Z1	5ª CONO	FRES 1	0,9
	A2	5ª CONO	ACHAFLA 1	0,7
	B2	5ª CONO	T. TERMICOS	7,0

	C2	5ª CONO	RECT 1	1,3
8	D2	MA CONO	TOR 1	3,3
	E2	MA CONO	TOR 2	4,1
	F2	MA CONO	TOR 3	0,5
	G2	MA CONO	FRES 1	1,6
	H2	MA CONO	ACHAFLA 1	1,1
	I2	MA CONO	T. TERMICOS	7,0
	J2	MA CONO	RECT 1	2,2
9	K2	MA PLANA	TOR 1	3,1
	L2	MA PLANA	TOR 2	0,4
	M2	MA PLANA	FRES 1	1,0
	N2	MA PLANA	ACHAFLA 1	0,7
	O2	MA PLANA	T. TERMICOS	7,0
	P2	MA PLANA	RECT 1	1,4
10	Q2	5ª PLANA	TOR 1	3,3
	R2	5ª PLANA	TOR 2	0,5
	S2	5ª PLANA	FRES 1	1,3
	T2	5ª PLANA	ACHAFLA 1	0,9
	U2	5ª PLANA	T. TERMICOS	7,0
	V2	5ª PLANA	RECT 1	1,8
11	W2	ENGR. SECUNDARIO	TOR 1	1,1
	X2	ENGR. SECUNDARIO	LAM 1	0,5
	Y2	ENGR. SECUNDARIO	TOR 2	0,5
	Z2	ENGR. SECUNDARIO	FRES 1	0,9
	A3	ENGR. SECUNDARIO	ACHAFLA 1	0,6
	B3	ENGR. SECUNDARIO	T. TERMICOS	7,0
	C3	ENGR. SECUNDARIO	RECT 1	1,3
12	D3	DESPLAZABLE 1ª - 2ª	TOR 1	1,6
13	E3	DESPLAZABLE 3ª - 4ª	TOR 1	1,5
14	F3	DESPLAZABLE 5ª - MA	TOR 1	1,5

Tabla B5. 2 Determinación de las precedencias de los procesos productivos

DETERMINACIÓN TIEMPOS Y PRECEDENCIA PROCESO PRODUCTIVO					
RUTA	ACTIVIDAD	PIEZA	OPERACIÓN	DURACIÓN	PRECEDENCIA
1	A	EJE PRIMARIO	TOR 1	1,2	
	B	EJE PRIMARIO	TOR 2	4,6	A
	C	EJE PRIMARIO	TOR 3	4,2	B
	D	EJE PRIMARIO	FRES 1	3,1	C
	E	EJE PRIMARIO	FRES 2	1,4	D
	F	EJE PRIMARIO	LAM 1	0,5	E
	G	EJE PRIMARIO	ACHAFLA 1	0,6	F
	H	EJE PRIMARIO	ACHAFLA 2	0,6	G
	I	EJE PRIMARIO	ACHAFLA 3	0,6	H
	J	EJE PRIMARIO	T. TERMICOS	14,0	I
	K	EJE PRIMARIO	RECT 1	0,3	J
2	L	EJE PRIMARIO	RECT 2	0,3	K
	M	EJE PRIMARIO	RECT 3	0,3	L
	N	EJE SECUNDARIO	TOR 1	2,2	
	O	EJE SECUNDARIO	TOR 2	2,3	N
	P	EJE SECUNDARIO	TOR 3	6,5	O
	Q	EJE SECUNDARIO	FRES 1	0,8	P
	R	EJE SECUNDARIO	LAM 1	0,3	Q
	S	EJE SECUNDARIO	ACHAFLA 1	0,3	R
3	T	EJE SECUNDARIO	ACHAFLA 2	0,3	S
	U	EJE SECUNDARIO	T. TERMICOS	14,0	T
	V	EJE SECUNDARIO	RECT 1	0,4	U
	W	EJE SECUNDARIO	RECT 2	0,4	V
	X	1ª CONO	TOR 1	3,3	
	Y	1ª CONO	TOR 2	4,3	X
	Z	1ª CONO	TOR 3	0,5	Y
4	A1	1ª CONO	FRES 1	1,7	Z
	B1	1ª CONO	ACHAFLA 1	1,2	A1
	C1	1ª CONO	T. TERMICOS	7,0	B1
	D1	1ª CONO	RECT 1	2,4	C1
	E1	2ª CONO	TOR 1	3,2	
	F1	2ª CONO	TOR 2	3,1	E1
	G1	2ª CONO	TOR 3	0,5	F1
5	H1	2ª CONO	FRES 1	1,5	G1
	I1	2ª CONO	ACHAFLA 1	1,0	H1
	J1	2ª CONO	T. TERMICOS	7,0	I1
	K1	2ª CONO	RECT 1	2,0	J1
	L1	3ª CONO	TOR 1	3,0	
	M1	3ª CONO	TOR 2	0,8	L1
	N1	3ª CONO	FRES 1	1,0	M1
6	O1	3ª CONO	ACHAFLA 1	0,7	N1
	P1	3ª CONO	T. TERMICOS	7,0	O1
	Q1	3ª CONO	RECT 1	1,4	P1
	R1	4ª CONO	TOR 1	3,1	
	S1	4ª CONO	TOR 2	0,4	R1
	T1	4ª CONO	FRES 1	1,2	S1
	U1	4ª CONO	ACHAFLA 1	0,8	T1
7	V1	4ª CONO	T. TERMICOS	7,0	U1
	W1	4ª CONO	RECT 1	1,6	V1
	X1	5ª CONO	TOR 1	2,8	
	Y1	5ª CONO	TOR 2	0,6	X1
	Z1	5ª CONO	FRES 1	0,9	Y1
	A2	5ª CONO	ACHAFLA 1	0,7	Z1
8	B2	5ª CONO	T. TERMICOS	7,0	A2
	C2	5ª CONO	RECT 1	1,3	B2
8	D2	MA CONO	TOR 1	3,3	

	E2	MA CONO	TOR 2	4,1	D2
	F2	MA CONO	TOR 3	0,5	E2
	G2	MA CONO	FRES 1	1,6	F2
	H2	MA CONO	ACHAFLA 1	1,1	G2
	I2	MA CONO	T. TERMICOS	7,0	H2
	J2	MA CONO	RECT 1	2,2	I2
9	K2	MA PLANA	TOR 1	3,1	
	L2	MA PLANA	TOR 2	0,4	K2
	M2	MA PLANA	FRES 1	1,0	L2
	N2	MA PLANA	ACHAFLA 1	0,7	M2
	O2	MA PLANA	T. TERMICOS	7,0	N2
	P2	MA PLANA	RECT 1	1,4	O2
10	Q2	5ª PLANA	TOR 1	3,3	
	R2	5ª PLANA	TOR 2	0,5	Q2
	S2	5ª PLANA	FRES 1	1,3	R2
	T2	5ª PLANA	ACHAFLA 1	0,9	S2
	U2	5ª PLANA	T. TERMICOS	7,0	T2
	V2	5ª PLANA	RECT 1	1,8	U2
11	W2	ENGR. SECUNDARIO	TOR 1	1,1	
	X2	ENGR. SECUNDARIO	LAM 1	0,5	W2
	Y2	ENGR. SECUNDARIO	TOR 2	0,5	X2
	Z2	ENGR. SECUNDARIO	FRES 1	0,9	Y2
	A3	ENGR. SECUNDARIO	ACHAFLA 1	0,6	Z2
	B3	ENGR. SECUNDARIO	T. TERMICOS	7,0	A3
	C3	ENGR. SECUNDARIO	RECT 1	1,3	B3
12	D3	DESPLAZABLE 1ª - 2ª	TOR 1	1,6	
13	E3	DESPLAZABLE 3ª - 4ª	TOR 1	1,5	
14	F3	DESPLAZABLE 5ª - MA	TOR 1	1,5	

CAMINOS CRÍTICOS INICIAL

CAMINOS CRÍTICOS INICIAL

CAMINOS CRÍTICOS OPTIMIZADO

Tabla B5. 3 Detalle de la distribución de los componentes en las líneas flexibles

DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPONENTES EN LAS DIFERENTES LINEAS FLEXIBLES		
Línea	Denominación	Piezas incluidas
1	Línea eje primario	Eje primario
2	Línea eje secundario	Eje secundario
3	Línea engranajes con ranurado	1º cono
		2ª cono
		Marcha atrás cono
4	Línea engranajes sin ranurado 1	3ª cono
		4ª cono
		5ª cono
5	Línea engranajes sin ranurado 2	5ª plana
		Marcha atrás plana
		Engranaje secundario
6	Línea desplazables	Desplazable 1ª – 2ª
		Desplazable 3ª – 4ª
		Desplazable 5ª – M.A.

Tabla B5. 4 Calculo de la producción y productividad para la línea del eje secundario

LÍNEA EJE SECUNDARIO						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	1	2,2	2,2	670	0,87	1491
TOR 2	2	2,3	1,1	1271		
TOR 3	2	6,5	3,3	441		
FRESADORA	2	0,8	0,4	3551		
LAMINADORA	3	0,3	0,1	15766		
ACHAFLA 1	1	0,3	0,3	5549		
ACHAFLA 2	1	0,3	0,3	5549		
T. TERMICOS	50	14,0	0,3	5143		
RECT 1	1	0,4	0,4	3400		
RECT 2	1	0,4	0,4	3400		

Tabla B5. 5 Calculo de la producción y productividad para la línea del eje primario

LÍNEA EJE PRIMARIO						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	1	1,2	1,2	1200	0,91	1425
TOR 2	2	4,6	2,3	628		
TOR 3	2	4,2	2,1	683		
FRES 1	2	3,1	1,5	931		
FRES 2	1	1,4	1,4	1043		
LAMINADORA	2	0,5	0,3	5255		
ACHAFLA 1	1	0,6	0,6	2400		
ACHAFLA 2	1	0,6	0,6	2400		
ACHAFLA 3	1	0,6	0,6	2400		
T. TERMICOS	50	14,0	0,3	5143		
RECT 1	1	0,3	0,3	4571		
RECT 2	1	0,3	0,3	4571		
RECT 3	1	0,3	0,3	4571		

Tabla B5. 6 Calculo de la producción y productividad para la línea de los engranajes con ranurado

LÍNEA ENGRANAJES CON RANURADO						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	1	3,3	3,3	439	1,23	1052
TOR 2	2	4,3	2,2	670		
TOR 3	1	0,5	0,5	2700		
FRESADORA	2	1,7	0,8	1712		
ACHAFLANADORA	2	1,2	0,6	2441		
T. TERMICOS	150	7,0	0,0	30857		
RECTIFICADORA	2	2,4	1,2	1220		

Tabla B5. 7 Cálculo de la producción y productividad para la línea de los engranajes sin ranurado 1

LÍNEA ENGRANAJES SIN RANURADO 1						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	2	3,1	1,6	929	0,64	2028
TOR 2	1	0,4	0,4	3456		
FRESADORA	2	1,2	0,6	2454		
ACHAFLANADORA	2	0,8	0,4	3499		
T. TERMICOS	150	7,0	0,0	30857		
RECTIFICADORA	2	1,6	0,8	1750		

Tabla B5. 8 Cálculo de la producción y productividad para la línea de los engranajes sin ranurado 2

LÍNEA ENGRANAJES SIN RANURADO 2						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	2	3,3	1,7	873	0,67	1932
TOR 2	1	0,5	0,5	2979		
TOR 3	1	0,5	0,5	2880		
FRESADORA	2	1,3	0,7	2215		
ACHAFLANADORA	2	0,9	0,5	3142		
T. TERMICOS	150	7,0	0,0	30857		
RECTIFICADORA	2	1,8	0,9	1585		

Tabla B5. 9 Cálculo de la producción y productividad para la línea de los desplazables

LÍNEA DESPLAZABLES				
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS
TOR 1	1	1,6	1,6	900
TOR 2	1	1,5	1,5	949
TOR 3	1	1,5	1,5	949

Tabla B5. 10 Distribuciones para el planteamiento optimizado

DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPONENTES EN LAS DIFERENTES LINEAS FLEXIBLES		
Línea	Denominación	Piezas incluidas
1	Línea ejes	Eje primario
		Eje secundario
2	Línea engranajes con ranurado	2ª cono
		Marcha atrás cono
3	Línea engranajes sin ranurado 1	3ª cono
		4ª cono
		5ª cono
4	Línea engranajes sin ranurado 2	5ª plana
		Marcha atrás plana
		Engranaje secundario
5	Línea desplazables y 1ª cono	Desplazable 1ª – 2ª
		Desplazable 3ª – 4ª
		Desplazable 5ª – M.A.
		1ª cono

Tabla B5. 11 Determinación de la producción objetivo

OBJETIVO DIARIO DE LAS LÍNEAS FLEXIBLES	
LÍNEA	PRODUCCIÓN MÁXIMA
Línea ejes	800
Línea engranaje con ranurado	800
Línea engranaje sin ranurado 1	1200
Línea engranaje sin ranurado 2	1200
Línea desplazables y 1ª cono	800

Tabla B5. 12 Cálculo de la producción y productividad para la línea del eje primario para un objetivo de 400

LÍNEA EJE						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	1	1,2	1,2	1200	0,81	1605
TOR 2	3	4,6	1,5	943		
TOR 3	3	4,2	1,4	1025		
FRES 1	2	3,1	1,5	931		
FRES 2	1	1,4	1,4	1043		
LAMINADORA	1	0,5	0,5	2628		
ACHAFLA 1	1	0,6	0,6	2400		
ACHAFLA 2	1	0,6	0,6	2400		
ACHAFLA 3	1	0,6	0,6	2400		
T. TERMICOS	100	14,0	0,1	10286		
RECT 1	1	0,3	0,3	4571		
RECT 2	1	0,3	0,3	4571		
RECT 3	1	0,3	0,3	4571		

Tabla B5. 13 Cálculo de la producción y productividad para la línea de los engranajes con ranurado para un objetivo de 400

LÍNEA ENGRANAJES CON RANURADO						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN (min)	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS (min)	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO (min)	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	2	3,3	1,7	873	1,06	1228
TOR 2	3	4,1	1,4	1054		
TOR 3	1	0,5	0,5	2787		
FRESADORA	1	1,6	1,6	914		
ACHAFLANADORA	1	1,1	1,1	1303		
T. TERMICOS	100	7,0	0,07	20571		
RECTIFICADORA	2	2,2	1,1	1303		

Tabla B5. 14 Cálculo de la producción y productividad para la línea de los engranajes sin ranurado 1 para un objetivo de 400

LÍNEA ENGRANAJES SIN RANURADO 1						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN (min)	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS (min)	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO (min)	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	3	3,1	1,0	1394	0,72	1802
TOR 2	1	0,4	0,4	3456		
FRESADORA	1	1,2	1,2	1227		
ACHAFLANADORA	1	0,8	0,8	1750		
T. TERMICOS	150	7,0	0,0	30857		
RECTIFICADORA	2	1,6	0,8	1750		

Tabla B5. 15 Calculo de la producción y productividad para la línea de los engranajes sin ranurado 2 para un objetivo de 400

LÍNEA ENGRANAJES SIN RANURADO 2						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN (min)	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS (min)	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO (min)	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	3	3,3	1,1	1309	0,66	1970
TOR 2	1	0,5	0,5	2979		
TOR 3	1	0,5	0,5	2880		
FRESADORA	2	1,3	0,7	2215		
ACHAFLANADORA	1	0,9	0,9	1571		
T. TERMICOS	150	7,0	0,0	30857		
RECTIFICADORA	2	1,8	0,9	1585		

Tabla B5. 16 Calculo de la producción y productividad para la línea de los desplazables y la 1ª cono con el objetivo de 400

LÍNEA ENGRANAJES DESPLAZABLES Y 1ª CONO						
OPERACION	CANTIDAD DE MÁQUINAS	TIEMPO DE LA OPERACIÓN (min)	TIEMPO OPERACIÓN SEGÚN MÁQUINAS (min)	N.º DE PIEZAS	PROMEDIO (min)	CAPACIDAD PRODUCTIVA
TOR 1	2	3,3	1,7	873	1,21	1068
TOR 2	3	4,1	1,4	1054		
TOR 3	1	0,5	0,5	2787		
FRESADORA	1	1,6	1,6	914		
ACHAFLANADORA	1	1,1	1,1	1303		
T. TERMICOS	100	7,0	0,07	20571		
RECTIFICADORA	1	2,2	2,2	651		

B6. Automatización de las líneas productivas optimizadas

Distribuciones automatizadas

Tabla B6. 1 Leyenda de las representaciones esquemáticas de las líneas de producción

LEYENDA			
SIM.	ABREVIATURA	NOMBRE	FUNCIÓN
	SPX	Sensor de Pieza	Detectar la presencia de una pieza
	SSX	Sensor de Soporte	Detectar la presencia de un soporte
	PEX	Paro de Emergencia	Activar un paro de emergencia
	MX	Pulsador de Marcha	Iniciar el programa de un bloque
	PX	Pulsador	Permitir la entrada de soportes a la línea
	SPOX	Sensor de Pieza Óptico	Comprobar mediante imagen si una pieza es correcta
	LSX	Lector de Soporte	Leer el código QR de los soportes
	UPX	Ubicación en Pulmón	Identificar la entrada de un soporte a un pulmón
	EVPX	Electroimán de Paso	Conducir un soporte por una ruta u otra
	EVFPX	Electroválvula de Freno Principal	Frenar el soporte de dentro de un bloque
	EVFAX	Electroválvula de Freno Auxiliar	Frenar el soporte de detrás de un bloque
	LX	Luz de emergencia	Comunicar visualmente un paro de emergencia
	MX	Motor	Mover las cintas transportadoras

Comentar que “X” corresponde al número del elemento dentro de la distribución.

DISTRIBUCIÓN LÍNEA EJES

Imagen B6. 1

DISTRIBUCION LINEA ENGRANAJE 1 CONO Y DESPLAZABLES

Imagen B6. 2

DISTRIBUCION LINEA ENGRANAJE CON RANURA

Imagen B6. 3

DISTRIBUCION LINEA ENGRANAJE SIN RANURA - 1

Imagen B6. 4

DISTRIBUCION LINEA ENGRANAJE SIN RANURA - 2

Imagen B6. 5

Sensores y actuadores

Tabla B6. 2 Sensores utilizados para el control de las diferentes distribuciones

SENSOR	NOMBRE	DESCRIPCION	TIPO SENSOR	MODELO	FOTOGRAFIA
SS	Sensor soporte	Detecta presencia del soporte	Sensor capacitivo	OMRON E2K-X8ME1 2M	
SP	Sensor pieza	Detecta presencia de la pieza	Sensor capacitivo	OMRON E2K-X8ME1 2M	
SPO	Sensor pieza óptico	Cámara que verifica si la pieza es correcta	Cámara	COGNEX In-Sight serie 7000	
LS	Lector QR	Lee el QR del soporte	Cámara	BANNER IVU2PRBR08	
UP	Ultimo soporte	Detecta el paso del ultimo soporte enviado a la máquina	Sensor óptico (reflexión)	OMRON E3FZ-D82 2M	

Tabla B6. 3 Accionadores utilizados para el control de las distribuciones

ACCIONADOR	NOMBRE	DESCRIPCION	TIPO ACCIONADOR	MODELO	FOTOGRAFIA
PE	Paro de emergencia	Pulsador con enclavamiento	Pulsador con enclavamiento normalmente cerrado	Schneider Electric XB4BT845	
P	Pulsador	Pulsador para la apertura de frenos en entradas y salidas de material	Pulsador normalmente abierto	Schneider Electric Harmony XB5	
M	Pulsador de marcha	Pulsador de marcha después de paro	Pulsador normalmente abierto	Schneider Electric Harmony XB5	
EVFP	Freno principal	Frena los soportes en los diferentes puntos de lectura	Electroválvula monoestable	Airtac 33V 110-06-NO	
EVFA	Freno auxiliar	Separa los soportes para evitar atascos y saltos de lectura	Electroválvula monoestable	Airtac 33V 110-06-NO	
EVP	Paso pieza máquina	Permite el paso de un soporte a la máquina	Electroimán	Conrad ITS-LX-2218	

Tabla B6. 4 Actuadores utilizados para las diferentes líneas de producción

ACCIONADOR	NOMBRE	DESCRIPCION	TIPO ACTUADOR	MODELO	FOTOGRAFIA
L	Luz	Indica de forma luminosa la presencia un paro de emergencia	Luz rotativa	Ryme automotive 817022	
EVFP	Freno principal	Frena los soportes en los diferentes puntos de lectura	Pistón simple efecto	Festo DSNU-PPS	
EVFA	Freno auxiliar	Separa los soportes para evitar atascos y saltos de lectura	Pistón de simple efecto	Festo DSNU-PPS	
M	Motor	Motor que mueve las cintas transportadoras a lo largo de las máquinas	Monofásico	Elektrim motor SE G 56-2A	
M	Motor	Motor que mueve la cinta principal de las distribuciones	Trifásico	Siemens IE2	

Bloques de sensores y actuadores**Tabla B6. 5** Ubicación y función de los diferentes tipos de bloques de sensores y actuadores

BLOQUES DE SENSORES Y ACTUADORES		
TIPO DE BLOQUES	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN/ FUNCIÓN
Bloques tipo A	Máquinas	Identificar la pieza que va a procesarse en la máquina
Bloques tipo B	Cinta principal	Distribución de las piezas por la línea de producción
Bloques tipo C	Salidas de la línea	Controlar las piezas en los puntos de salida de la línea
Bloques tipo D	Entradas de la línea	Controlar las piezas en los puntos de entrada de la línea
Bloques tipo E	Cinta principal	Distribución de las piezas por las diferentes salidas de la línea
Bloques tipo F	Cinta principal	Control de motores y paro de emergencia general

Tabla B6. 6 Leyenda de la **Imagen B6. 6**

LEYENDA	
TIPO DE BLOQUES	COLOR DEL RECUADRO
Bloques tipo A	Verde
Bloques tipo B	Azul claro
Bloques tipo C	Naranja
Bloques tipo D	Azul marino
Bloques tipo E	Morado
Bloques tipo F	Amarillo

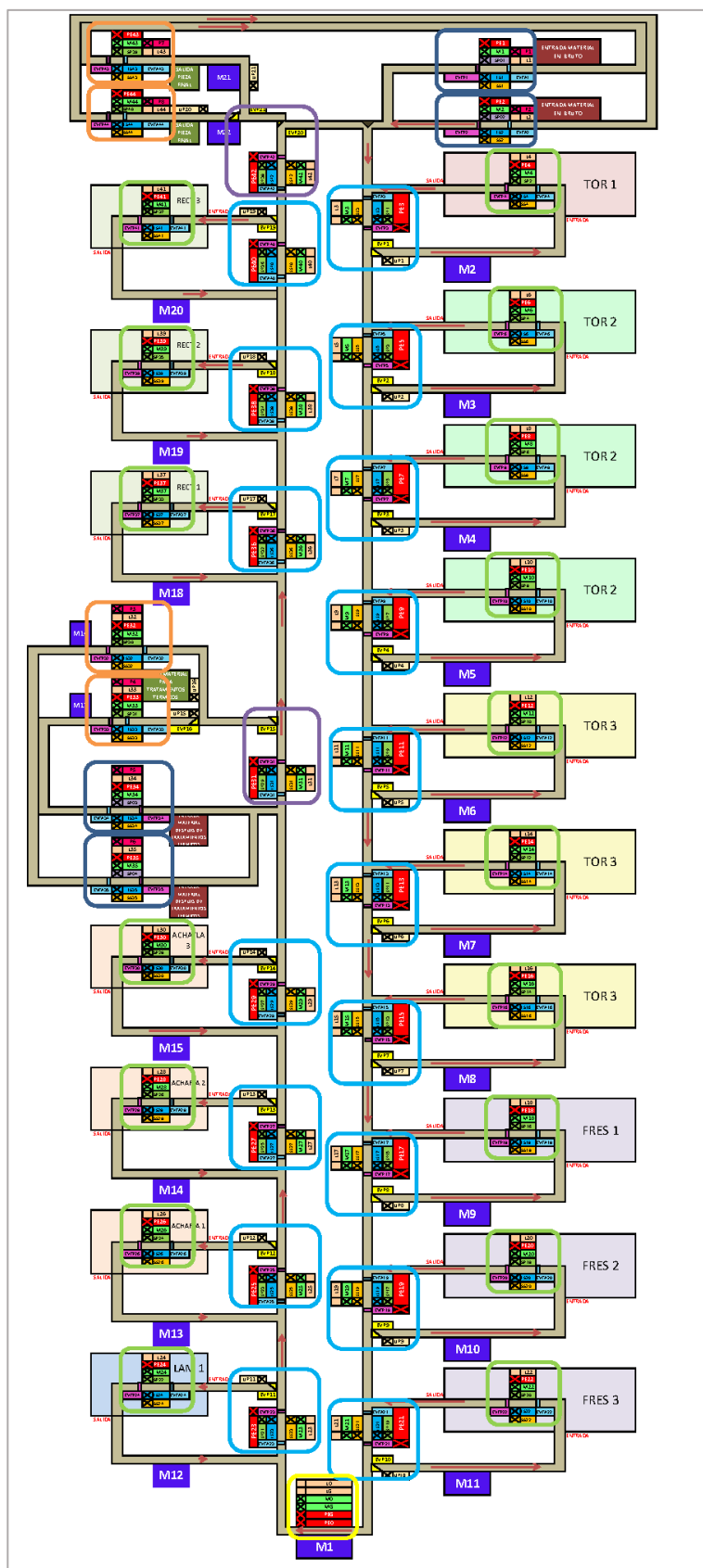


Imagen B6. 6 Línea de producción de los ejes con los diferentes tipos de bloques identificadas por colores

Tabla B6. 7 Recopilación de los motores de la línea para ejes

RELACIÓN DE MOTORES EN LA LÍNEA PARA EJES		
TIPO DE BLOQUES	MOTORES ASOCIADOS	MOTIVO
Bloques tipo A	M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M18, M19, M20	Cada máquina del sistema tiene su propia cinta y motor. Si esa máquina se para, no se interrumpe el funcionamiento del resto del sistema
Bloques tipo B	M1	Todos estos bloques se encuentran en la cinta principal de la línea
Bloques tipo C	M16, M17, M21, M22	Cada entrada y salida para un tipo de pieza está controlada por una misma cinta y un mismo motor
Bloques tipo D	M16, M17, M21, M22	Cada entrada y salida para un tipo de pieza está controlada por una misma cinta y un mismo motor
Bloques tipo E	M1	Todos estos bloques se encuentran en la cinta principal de la línea
Bloques tipo F	M1	Todos estos bloques se encuentran en la cinta principal de la línea

Tabla B6. 8 Leyenda de la Imagen B6. 7

LEYENDA		
CINTA	COLOR	MOTORES
Cinta principal	Azul	M1
Cinta de máquina	Marrón	M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M18, M19, M20
Cinta de salida/entrada 1	Naranja	M16, M21
Cinta de salida/entrada 2	Amarilla	M17, M22

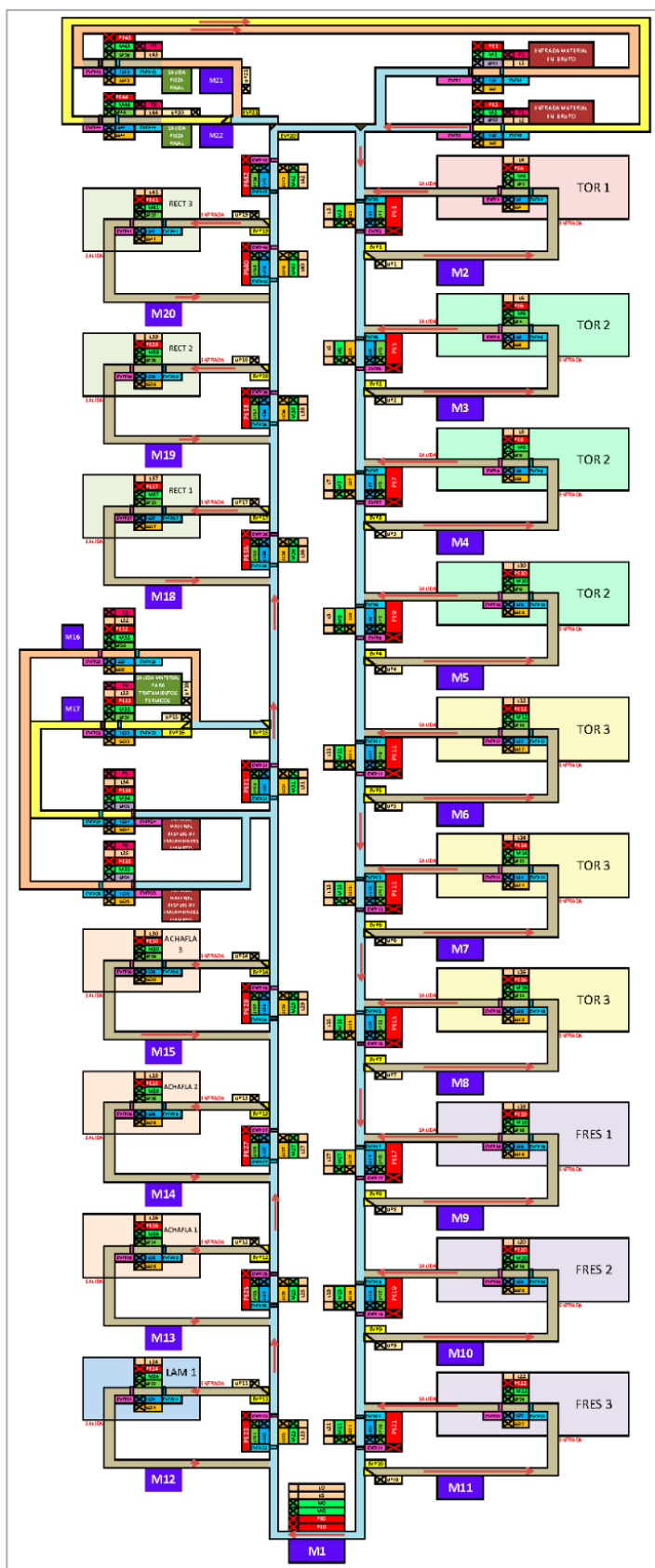


Imagen B6. 7 Línea de producción de los ejes con las diferentes cintas identificadas por colores

GRAFCETS**Tabla B6. 9** Leyenda de símbolos poco habituales incluidos en los GRAFCETS

LEYENDA		
SÍMBOLO	NOMBRE	FUNCIÓN
¬	Negado/diferente de	Negar la detección de un sensor/pulsador o indicar diferencia de valores numéricos.
LSXi	Lector de Soporte input	Leer el código QR del soporte y enviar esta información al programa de control
LSXo	Lector de Soporte output	Recibir instrucciones del programa de control
SPOi	Sensor de Pieza Óptico input	Tomar una fotografía de la pieza y enviar esta información al programa de control
SPOo	Sensor de Pieza Óptico output	Recibir instrucciones del programa de control

Comentar que “X” corresponde al número del elemento dentro de la distribución.

Tabla B6. 10 Relación entre GRAFCETS y bloques de sensores y actuadores para la línea de los ejes

RELACIÓN ENTRE BLOQUES Y GRAFCETS		
TIPO DE BLOQUES	BLOQUES PERTENECIENTES A ESTE TIPO	GRAFCET ASOCIADO
Bloques tipo A	4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 37, 39 y 41	GRAFCET tipo A
Bloques tipo B	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 36, 38 y 40	GRAFCET tipo B
Bloques tipo C	32, 33, 43 y 44	GRAFCET tipo C
Bloques tipo D	1, 2, 34 y 35	GRAFCET tipo D
Bloques tipo E	31 y 42	GRAFCET tipo E
Bloques tipo F	0	GRAFCET tipo F

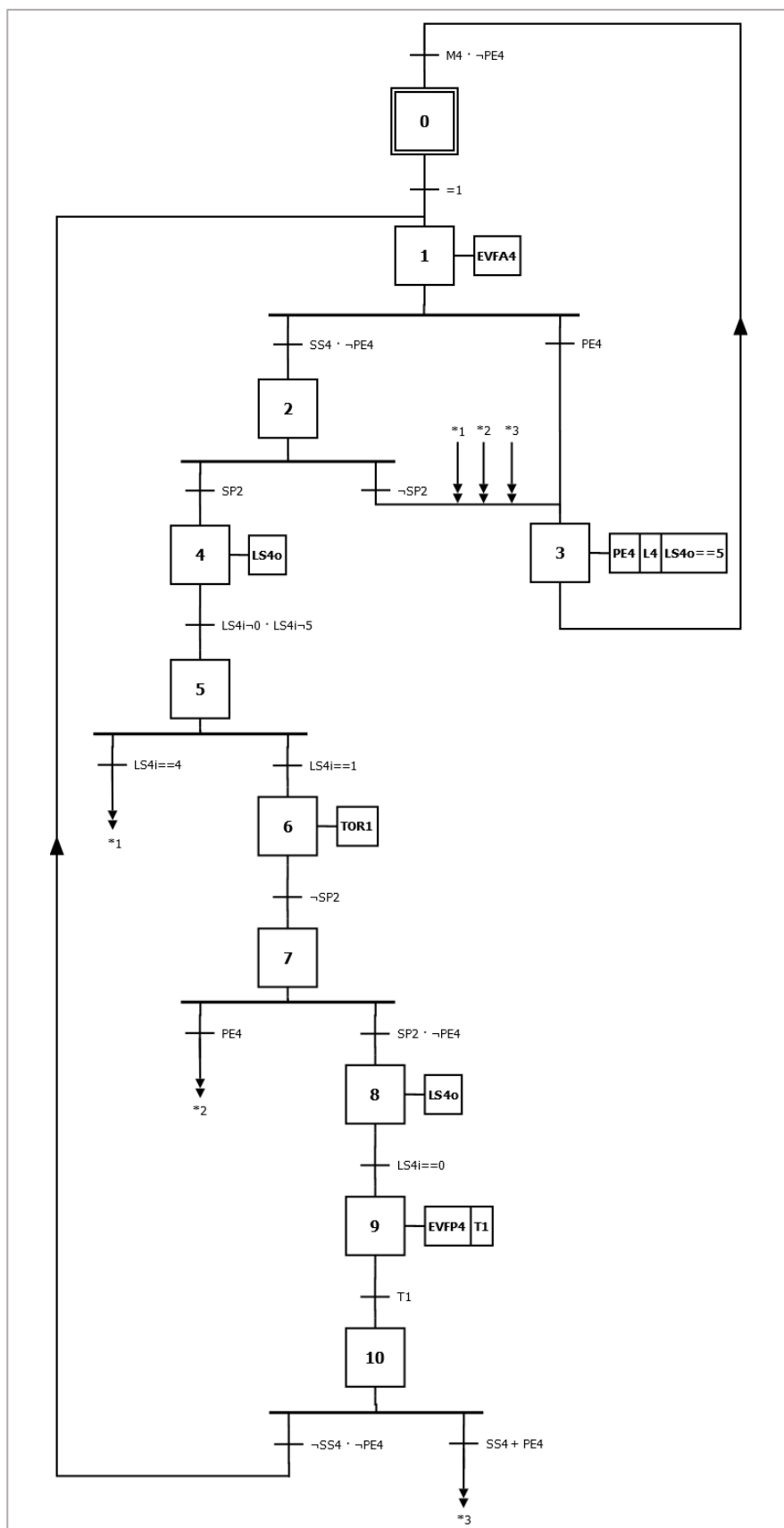


Imagen B6. 8 GRAFCET tipo A. Ejemplo en línea para ejes, bloque 4

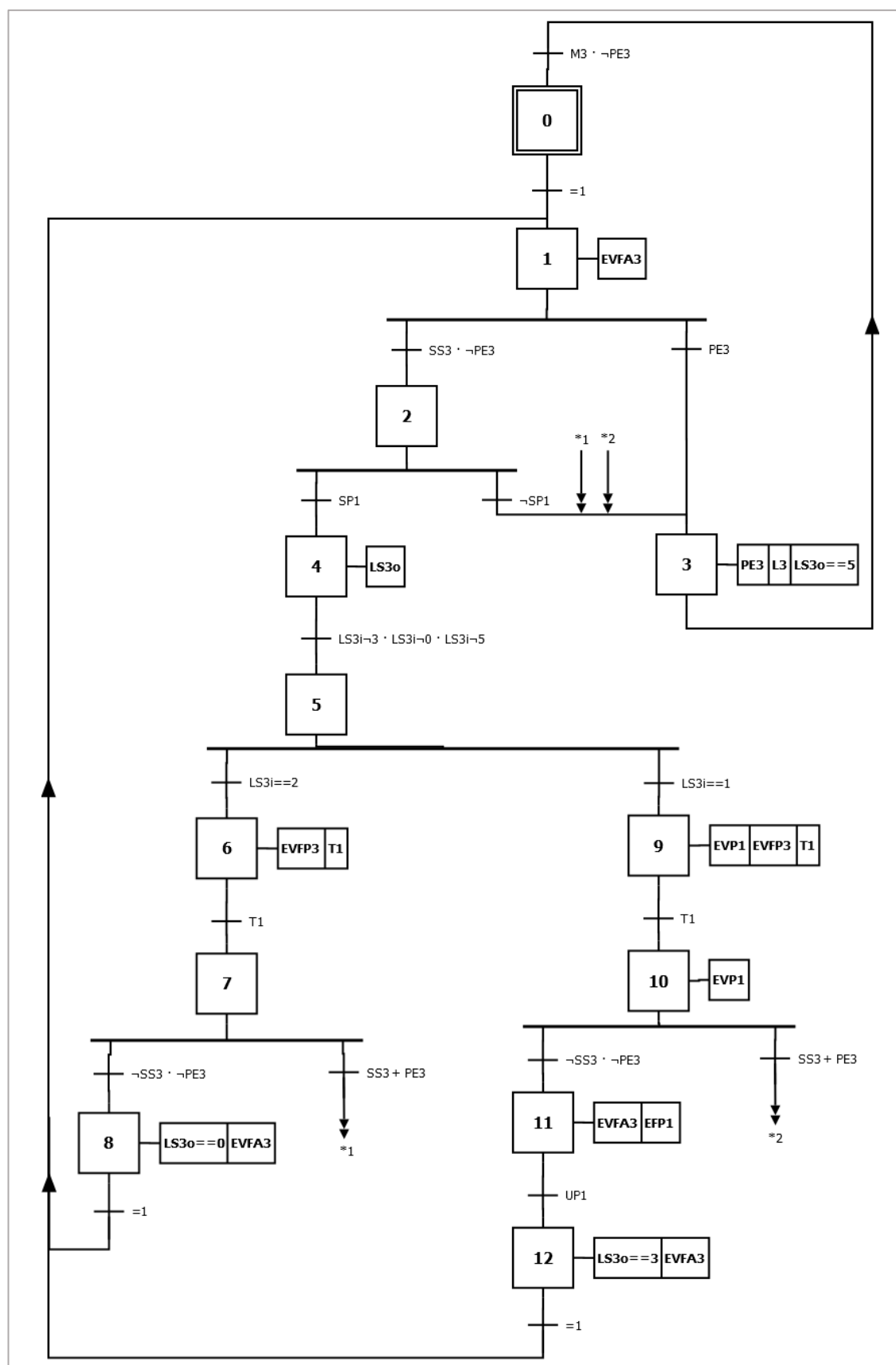


Imagen B6. 9 GRAFCET tipo B. Ejemplo en línea para ejes, bloque 3

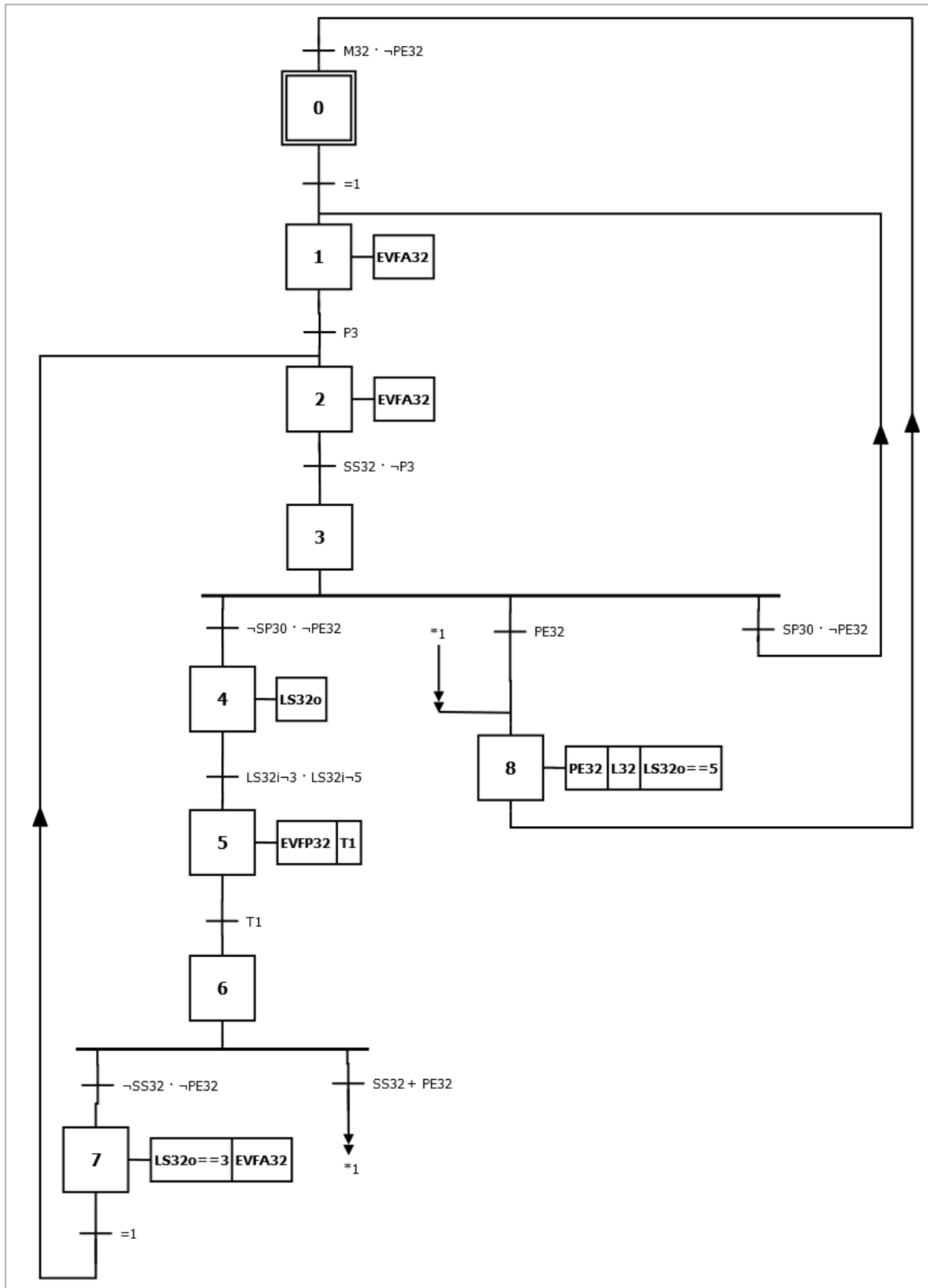


Imagen B6. 10 GRAFCET tipo C. Ejemplo en línea para ejes, bloque 32

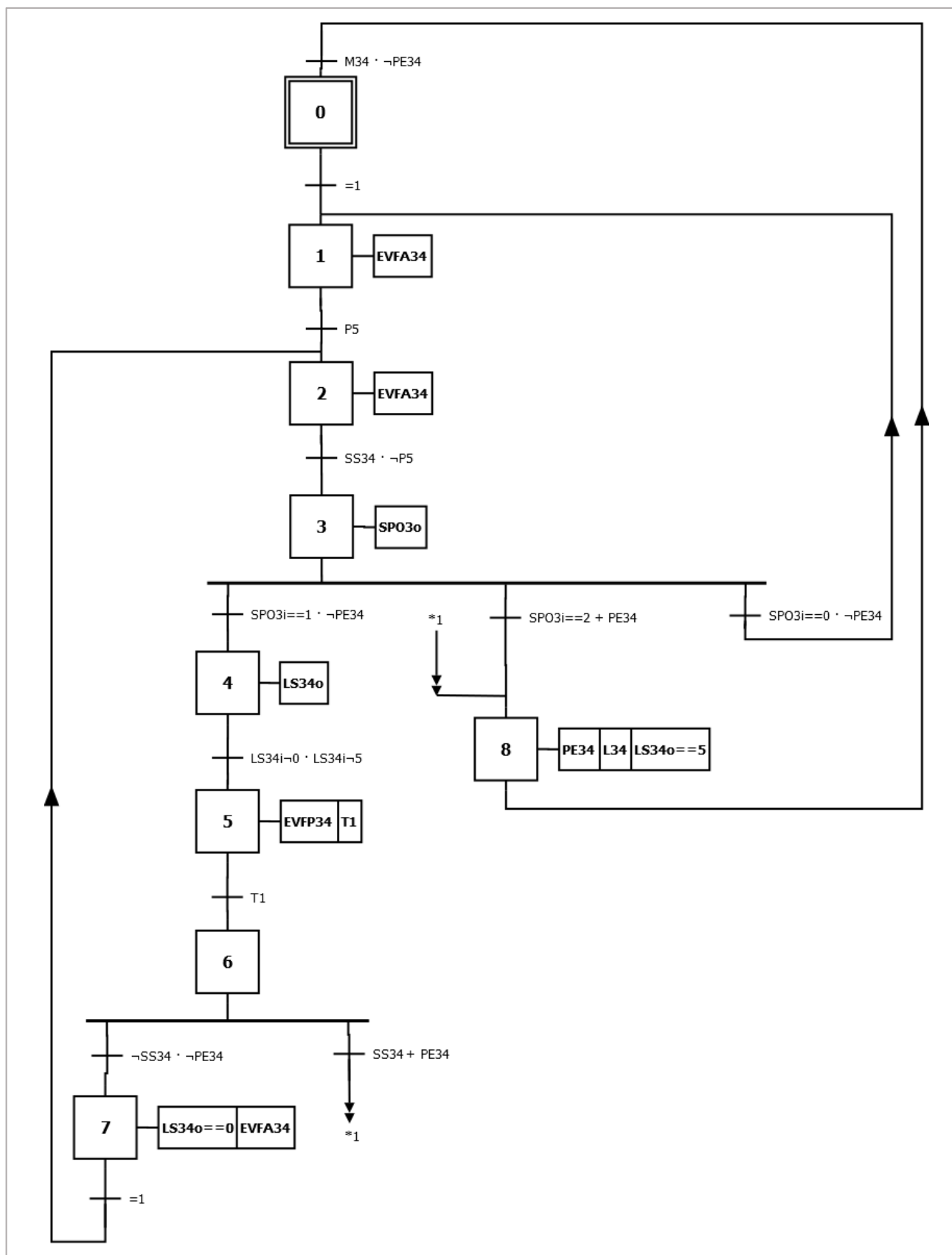


Imagen B6. 11 GRAFCET tipo D. Ejemplo en línea para ejes, bloque 34

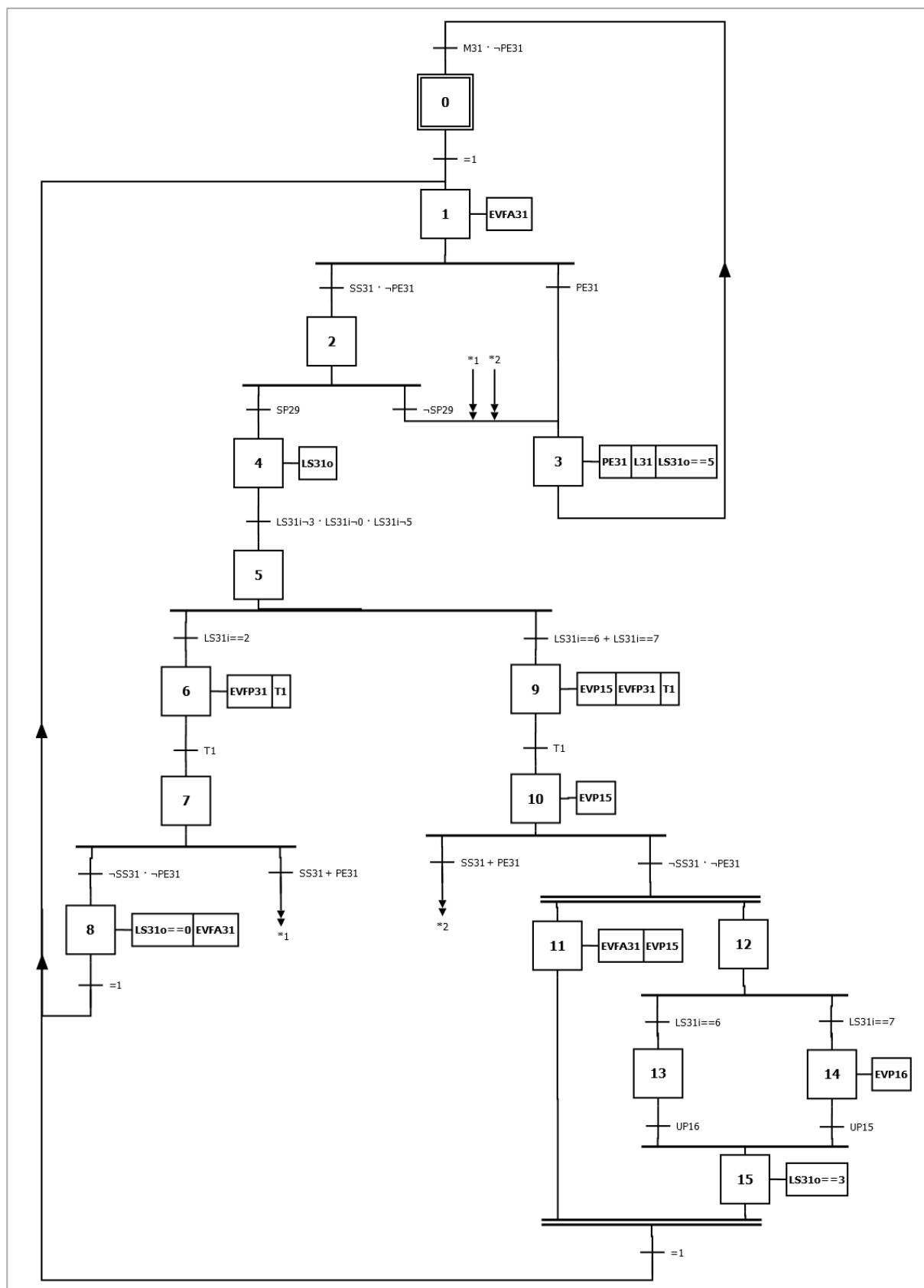


Imagen B6. 12 GRAFCET tipo E. Ejemplo en línea para ejes, bloque 31

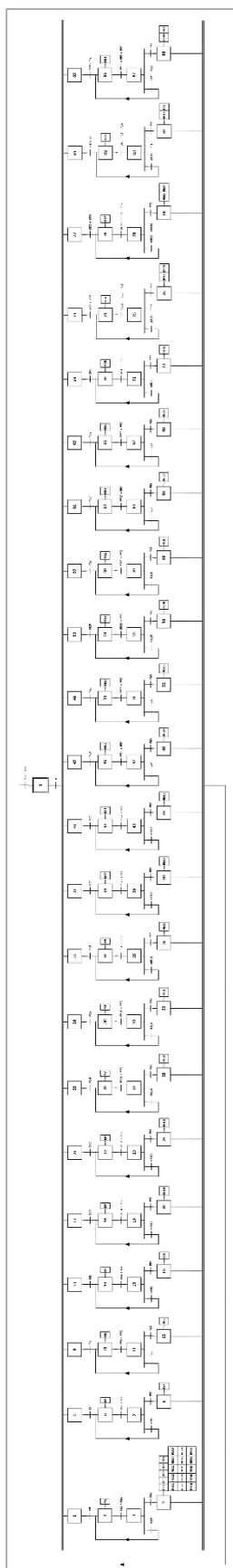


Imagen B6. 13 GRAFCET tipo F. Ejemplo en línea para ejes, todos los bloques

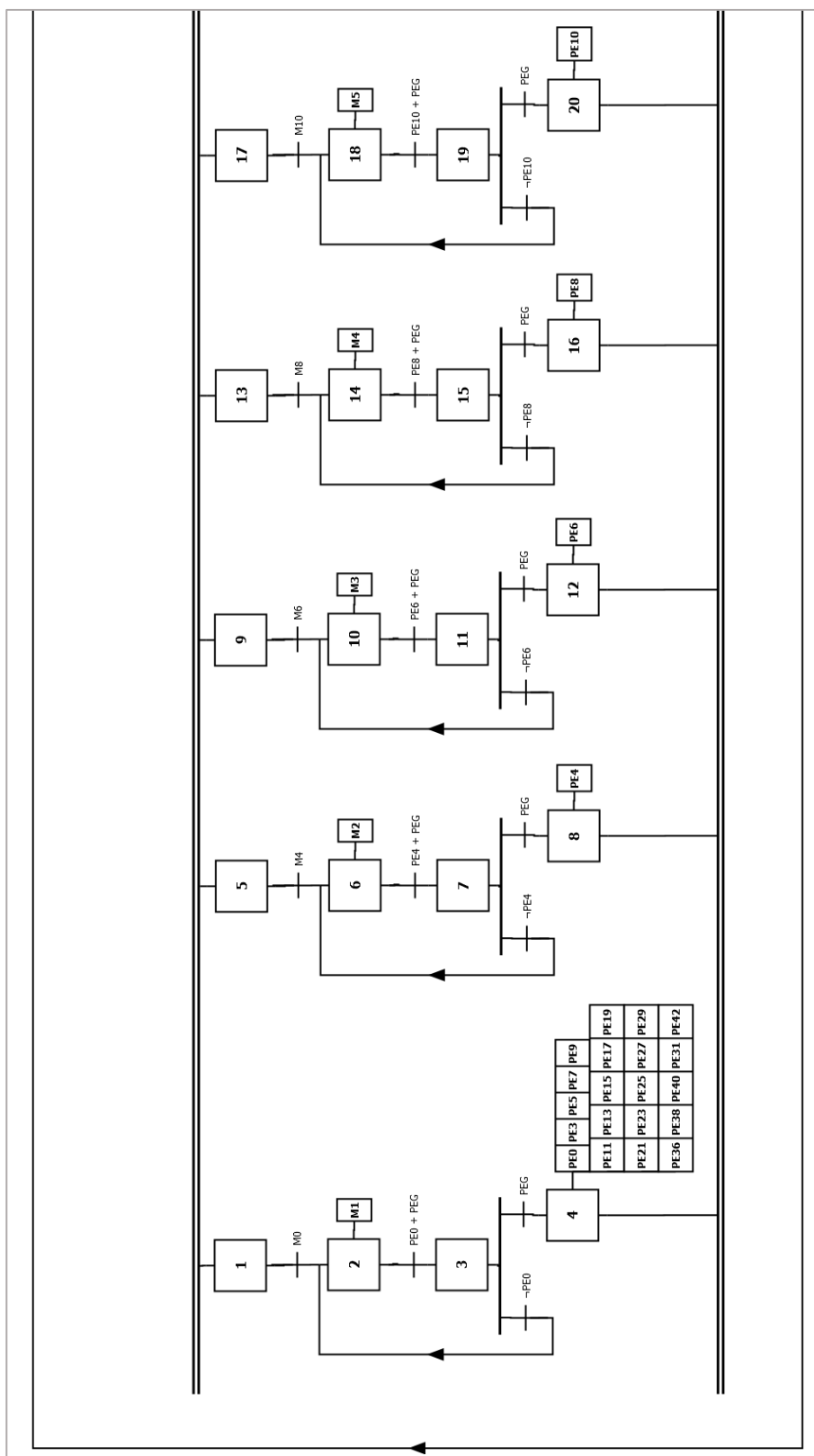


Imagen B6. 14 GRAFCET tipo F. Ampliación 1

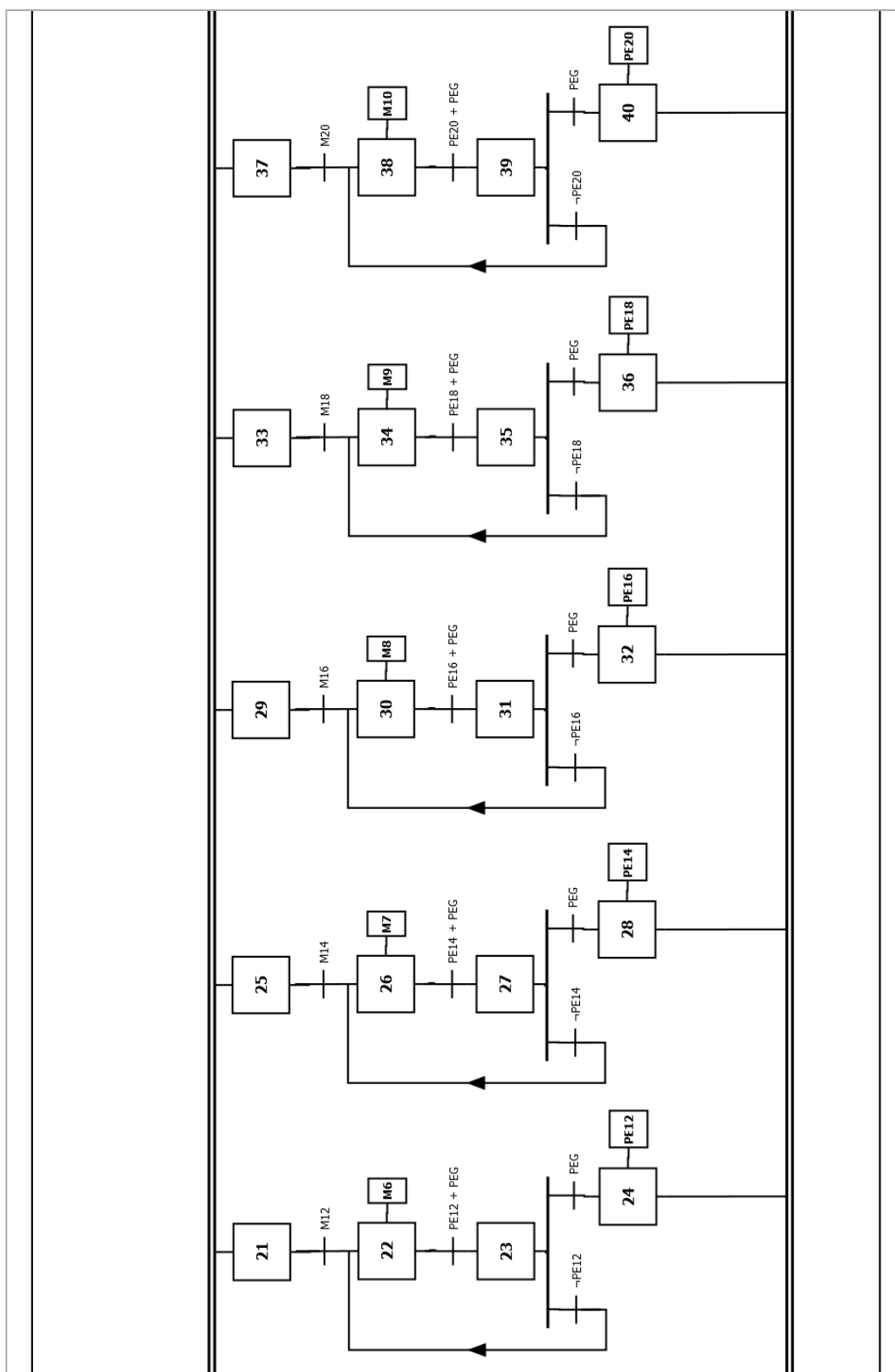


Imagen B6. 15 GRAFCET tipo F. Ampliación 2

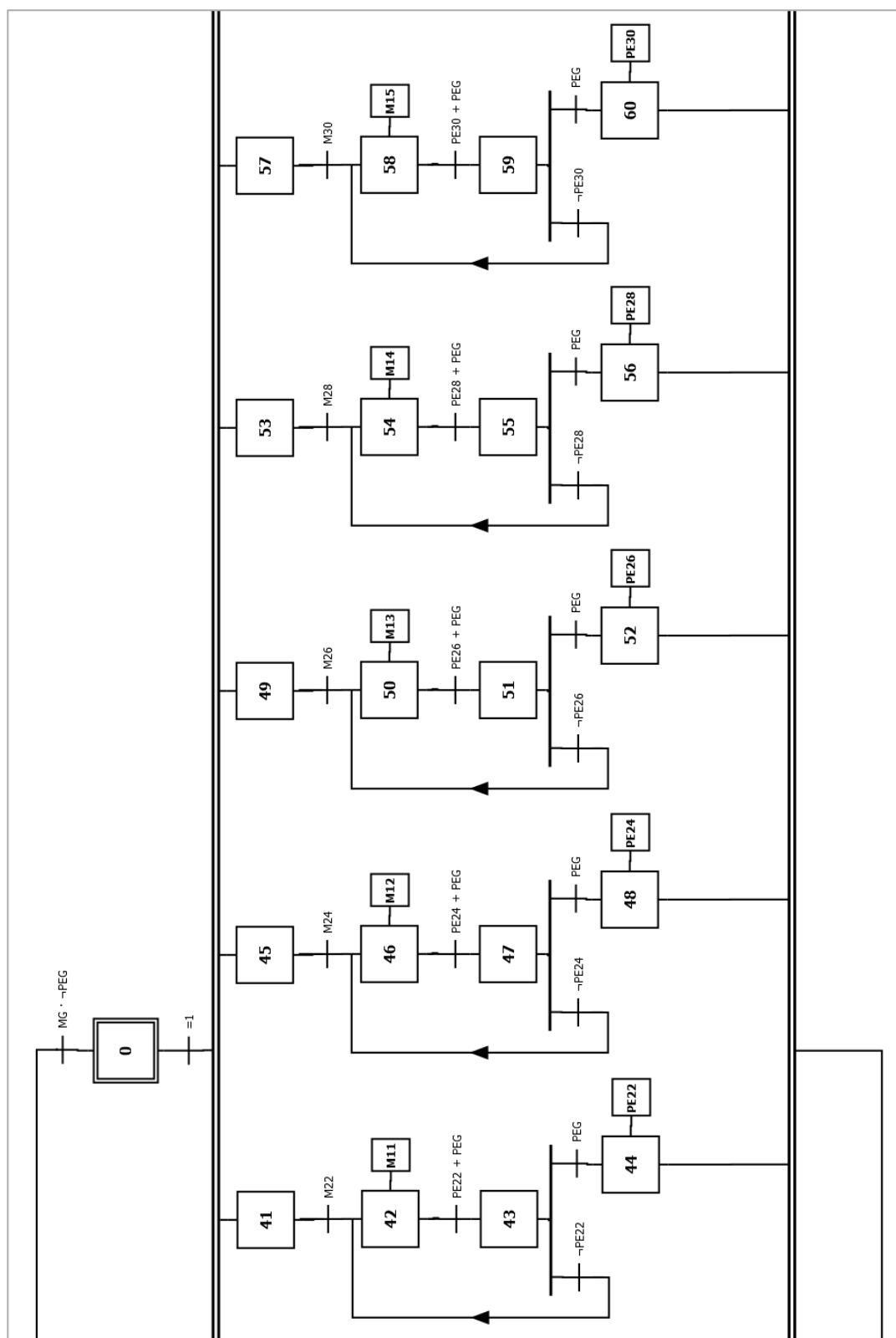


Imagem B6. 16 GRAFCET tipo F. Ampliación 3

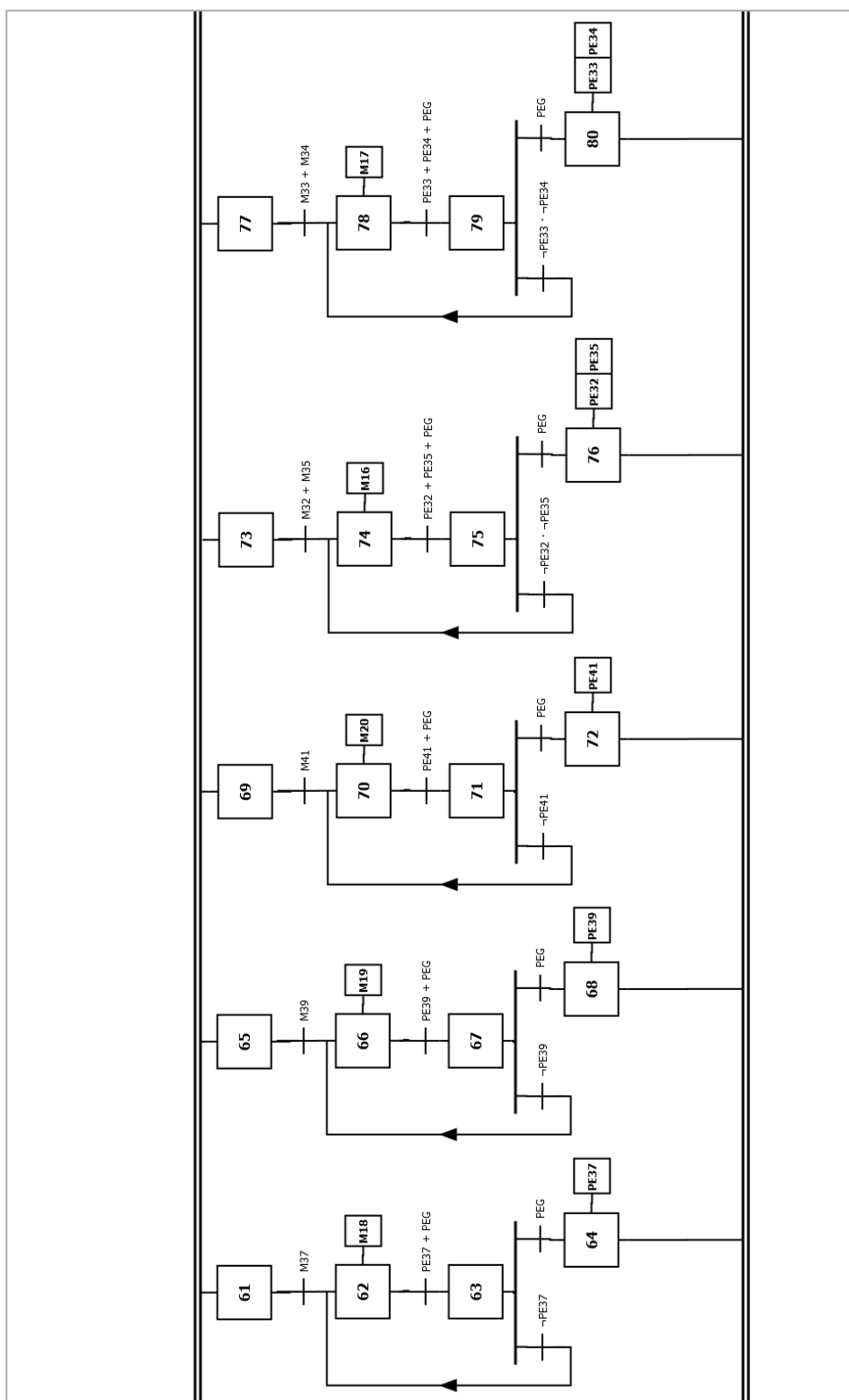


Imagen B6. 17 GRAFCET tipo F. Ampliación 4

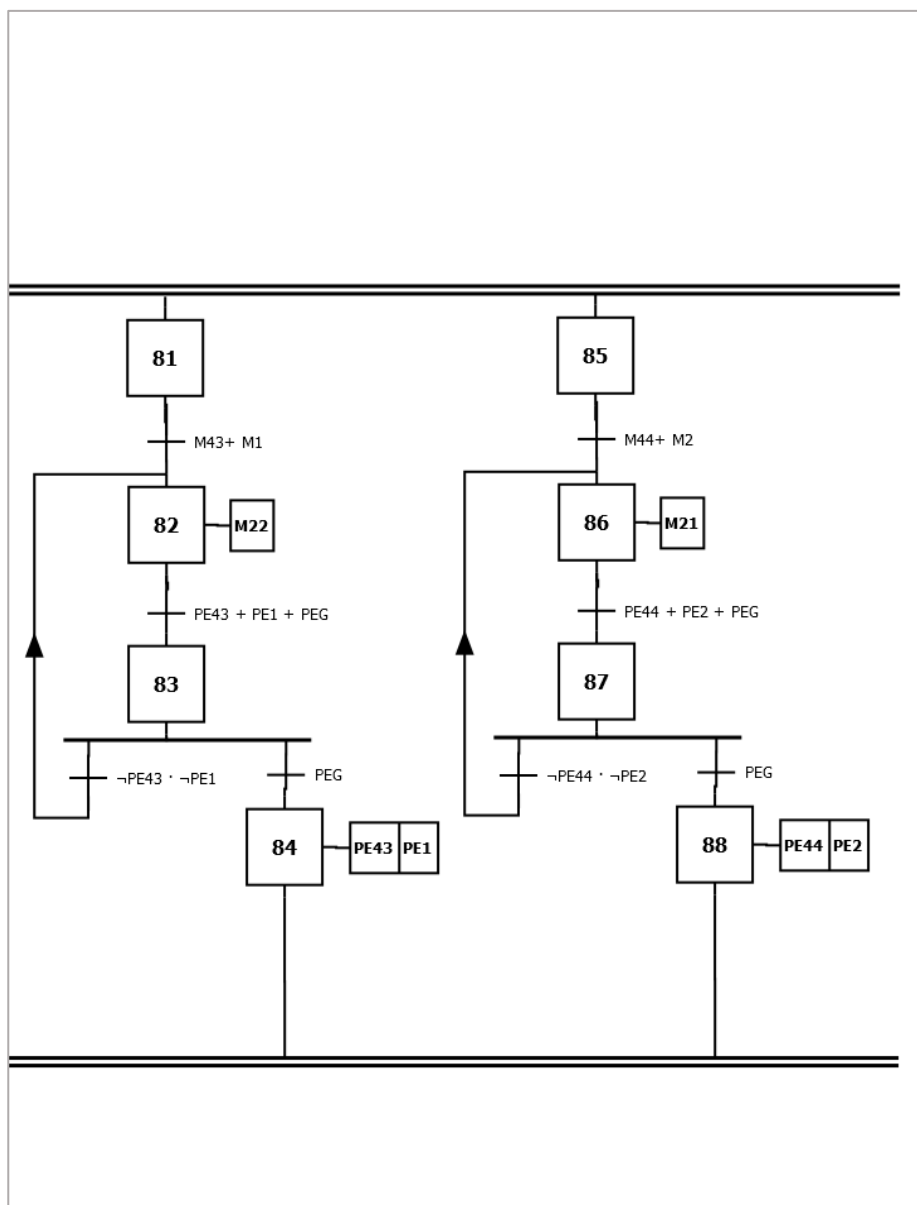


Imagen B6. 18 GRAFCET tipo F. Ampliación 5

- Resumen del funcionamiento de cada tipo de GRAFCET

GRAFCET A:

En la Imagen B6. 8 se muestra un ejemplo de GRAFCET para los bloques tipo A (máquinas) con el bloque 4. En la Et.0 se espera a pulsar el botón de marcha (M4) para iniciar el programa. De la Et.1 a la Et.2, se abre la entrada de piezas al bloque (EVFA4) y espera a detectar un soporte dentro o un paro de emergencia (PE). Entre la Et.2 y la Et.4 se comprueba si hay o no una pieza sobre el soporte. En caso negativo se activa el PE. Entre la Et.4 y la Et.5 se escanea el código QR del soporte (output) y se espera a recibir una instrucción del programa de control como consecuencia (input). En caso de estar todo correcto ($LS4i==1$) se procede a aplicar en la máquina la operación adecuada a la pieza detectada (Et.6). De la Et.7 a la Et.8 se espera a que la pieza haya vuelto a su soporte después de ser procesada en la máquina, teniendo en cuenta un posible PE durante este proceso. De la Et.8 a la Et.9 se vuelve a escanear el código QR del soporte para notificar al programa de control que la operación ya ha sido realizada en esa pieza. Después se libera la pieza para que pueda seguir circulando por la línea. Entre la Et.9 y la Et.1 la pieza sale del bloque al abrirle el paso (EVFP4) durante un tiempo (T1). Tras comprobar que el bloque se ha vaciado, el proceso vuelve a repetirse. Se ha contemplado la posibilidad de que la pieza se atasque y no saliese del bloque, en este caso se activaría el PE.

GRAFCET B:

En la Imagen B6. 9 se muestra un ejemplo de GRAFCET para los bloques tipo B (cinta principal) con el bloque 3. En la Et.0 se espera a pulsar el botón de marcha (M3) para iniciar el programa. De la Et.1 a la Et.2, se abre la entrada de piezas al bloque (EVFA3) y espera a detectar un soporte dentro o un paro de emergencia (PE). Entre la Et.2 y la Et.4 se comprueba si hay o no una pieza sobre el soporte. En caso negativo se activa el PE. Entre la Et.4 y la Et.5 se escanea el código QR del soporte (output) y se espera a recibir una instrucción del programa de control como consecuencia (input). Entre la Et.5 y la Et.7, en caso de que la pieza tenga que seguir circulando por la cinta principal ($LS3i==2$), se abre la salida del bloque (EVFP3) durante un tiempo (T1). Entre la Et.7 y la Et.8, tras comprobar que el bloque se ha vaciado, se notifica al programa de control que la pieza ha avanzado por la cinta principal ($LS3i==0$) y el proceso vuelve a repetirse desde la Et.1. Se ha contemplado la posibilidad de que la pieza se atasque y no saliese del bloque, en este caso se activaría el PE.

Entre la Et.5 y la Et.10, en caso de que la pieza tenga que entrar al pulmón de la máquina ($LS3i==1$), se abre la salida del bloque (EVFP3) durante un tiempo (T1) de la misma forma vista anteriormente. Pero, además se activa el elemento que cierra el camino hacia la cinta principal y abre el camino hacia la máquina (EVP1). De la Et.10 a la Et.12 se comprueba que el bloque se ha vaciado de la misma

forma vista anteriormente y se espera a que la pieza sea detectada dentro del pulmón (UP1). Tras esto se notifica al programa de control que la pieza está en el pulmón de la máquina (LS3o==3) y el proceso vuelve a repetirse desde la Et.1.

GRAFCET C:

En la Imagen B6. 10 se muestra un ejemplo de GRFCET para los bloques tipo C (salidas de material de la línea) con el bloque 32. En la Et.0 se espera a pulsar el botón de marcha (M32) para iniciar el programa. De la Et.1 a la Et.2, se abre la entrada de piezas al bloque (EVFA32) y espera a que se pulse un botón (P3) para dejar pasar todos los soportes vacíos de las piezas que han ido a tratamiento térmico. Entre la Et.2 y la Et.4, una vez soltado el botón (P3) se comprueba si hay o no una pieza sobre el soporte. En caso de detectarse pieza, el programa vuelve a la Et.1 a espera de vaciar el soporte. Entre la Et.4 y la Et.5, en caso de no haber pieza sobre el soporte y no haberse dado ningún PE, se escanea el código QR del soporte (output) y se espera a recibir una instrucción del programa de control como consecuencia (input). Entre la Et.5 y la Et.6, se abre la salida del bloque (EVFP32) durante un tiempo (T1). Entre la Et.6 y la Et.7, tras comprobar que el bloque se ha vaciado, se notifica al programa de control que la pieza ha avanzado al pulmón del bloque tipo D correspondiente (LS32o==3) y el proceso vuelve a repetirse desde la Et.1. Se ha contemplado la posibilidad de que la pieza se atascase y no saliese del bloque, en este caso se activaría el PE.

GRAFCET D:

En la Imagen B6. 11 se muestra un ejemplo de GRFCET para los bloques tipo D (entradas de material a la línea) con el bloque 34. En la Et.0 se espera a pulsar el botón de marcha (M34) para iniciar el programa. De la Et.1 a la Et.2, se abre la entrada de piezas al bloque (EVFA34) y espera a que se pulse un botón (P5) para dejar pasar todas las piezas que han vuelto de tratamiento térmico. Entre la Et.2 y la Et.4, una vez soltado el botón (P5) se comprueba si hay o no una pieza sobre el soporte. Esto se hace con el sensor de pieza óptico (SPO3) el cual hace una fotografía de la pieza y comprueba que sea la correcta para ese soporte. En caso de que la pieza sea incorrecta se activara el PE del bloque. En caso de no detectarse pieza, el programa vuelve a la Et.1 a espera de llenar el soporte. Entre la Et.4 y la Et.5, en caso de que la pieza detectada fuese correcta y no haberse dado ningún PE, se escanea el código QR del soporte (output) y se espera a recibir una instrucción del programa de control como consecuencia (input). Entre la Et.5 y la Et.6, se abre la salida del bloque (EVFP34) durante un tiempo (T1). Entre la Et.6 y la Et.7, tras comprobar que el bloque se ha vaciado, se notifica al programa de control que la pieza ha avanzado hacia la línea principal (LS34o==0) y el proceso vuelve a repetirse

desde la Et.1. Se ha contemplado la posibilidad de que la pieza se atascase y no saliese del bloque, en este caso se activaría el PE.

GRAFCET E:

En la Imagen B6. 12 se muestra un ejemplo de GRFCET para los bloques tipo E (cinta principal) con el bloque 31. En la Et.0 se espera a pulsar el botón de marcha (M31) para iniciar el programa. De la Et.1 a la Et.2, se abre la entrada de piezas al bloque (EVFA31) y espera a detectar un soporte dentro o un paro de emergencia (PE). Entre la Et.2 y la Et.4 se comprueba si hay o no una pieza sobre el soporte. En caso negativo se activa el PE. Entre la Et.4 y la Et.5 se escanea el código QR del soporte (output) y se espera a recibir una instrucción del programa de control como consecuencia (input). Entre la Et.5 y la Et.7, en caso de que la pieza tenga que seguir circulando por la cinta principal ($LS31i==2$), se abre la salida del bloque (EVFP31) durante un tiempo (T1). Entre la Et.7 y la Et.8, tras comprobar que el bloque se ha vaciado, se notifica al programa de control que la pieza ha avanzado por la cinta principal ($LS31i==0$) y el proceso vuelve a repetirse desde la Et.1. Se ha contemplado la posibilidad de que la pieza se atascase y no saliese del bloque, en este caso se activaría el PE.

Entre la Et.5 y la Et.10, en caso de que la pieza tenga que entrar al pulmón de la salida de piezas ($LS31i==6$ o $LS31i=7$), se abre la salida del bloque (EVFP31) durante un tiempo (T1) de la misma forma vista anteriormente. Pero, además se activa el elemento que cierra el camino hacia la cinta principal y abre el camino hacia la salida de la línea (EVP15). De la Et.10 a la Et.12 se comprueba que el bloque se ha vaciado de la misma forma vista anteriormente y se abre nuevamente la entrada de piezas al bloque (EVFA31) para que pueda entrar el siguiente soporte. Al mismo tiempo se mantiene activada la (EVP15) para que la pieza liberada salga de la línea. Entre la Et.12 y la Et.15, se activa el elemento (EVP16) que distribuye la pieza hacia la salida que le corresponda. Seguidamente espera a que la pieza sea detectada en la salida correspondiente (UP15 o UP16). Tras esto se notifica al programa de control que la pieza está en el pulmón de salida de la línea ($LS3o==3$) y el proceso vuelve a repetirse desde la Et.1.

GRAFCET F:

En la Imagen B6. 13 se muestra un ejemplo de GRFCET para los bloques tipo F (cinta principal) para los bloques de la línea de los ejes. En este programa se controlan todos los motores de la línea en paralelo, así como el paro de emergencia general (PEG). De la Et.1 a la Et.4 se activa el motor de la cinta principal (M1) el cual se puede desactivar en caso del paro de la cinta principal (PE0) o de paro general (PEG). En caso de PE0 se espera a que se resuelva ese paro para que el motor vuelva a

funcionar. En caso de paro general se activan los PE de todos los bloques asociados a la cinta principal (Bloques tipo B y E).

De la Et.5 a la Et.72 se activan los motores de las cintas de cada máquina de la línea (M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M18, M19 y M20), los cuales se pueden desactivar en caso de paro de emergencia del bloque de su correspondiente máquina o de paro general (PEG). En caso de PE de la máquina se espera a que se resuelva ese paro para que el motor vuelva a funcionar. En caso de paro general se activan los PE de todos los bloques asociados a cada cinta (Bloques tipo A).

De la Et.73 a la Et.80 se activan los motores de las cintas de salida y entrada de tratamiento térmico (M16 y M17), los cuales se pueden desactivar en caso de paro de emergencia de los bloques de su cinta o de paro general (PEG). En caso de PE de los bloques de la cinta, se espera a que se resuelva ese paro para que el motor vuelva a funcionar. En caso de paro general se activan los PE de todos los bloques asociados a cada cinta (Bloques tipo C y D).

De la Et.81 a la Et.88 se activan los motores de las cintas de salida y entrada de materia y piezas (M22 y M21), los cuales se pueden desactivar en caso de paro de emergencia de los bloques de su cinta o de paro general (PEG). En caso de PE de los bloques de la cinta, se espera a que se resuelva ese paro para que el motor vuelva a funcionar. En caso de paro general se activan los PE de todos los bloques asociados a cada cinta (Bloques tipo C y D).

Programa de control

- Plantillas y listas generales de información del programa de control

Tabla B6. 11 Plantilla de la lista de correlación de piezas y soportes

CORRELACIÓN DE PIEZAS Y SOPORTES			
SOPORTE (QR)	PIEZA	ULTIMA UBICACIÓN	ULTIMA OPERACIÓN REALIZADA

Tabla B6. 12 Plantilla de la lista de Información guardada de cada soporte

SOPORTE (QR): 0001					
RECORRIDO	OPERACIÓN	FECHA	HORA	OPERARIO AL CARGO	COMENTARIOS

Tabla B6. 13 Plantilla de la lista de operaciones a realizar en las piezas “Eje primario”

OPERACIONES PARA EJE PRIMARIO				
OPERACIÓN	MÁQUINAS DONDE REALIZAR LA OPERACIÓN	BLOQUE DE ACCESO A LA OPERACIÓN	BLOQUE DE LA OPERACIÓN	CÓDIGO CNC DE LA OPERACIÓN

Tabla B6. 14 Plantilla de la lista de operaciones a realizar en las piezas “Eje secundario”

OPERACIONES PARA EJE SECUNDARIO				
OPERACIÓN	MÁQUINAS DONDE REALIZAR LA OPERACIÓN	BLOQUE DE ACCESO A LA OPERACIÓN	BLOQUE DE LA OPERACIÓN	CÓDIGO CNC DE LA OPERACIÓN

Tabla B6. 15 Plantilla de la lista del estado de las máquinas

ESTADO DE LAS MÁQUINAS		
MÁQUINA	ESTADO	PIEZAS EN PULMÓN

Tabla B6. 16 Plantilla de la lista del estado de los bloques de sensores y actuadores

ESTADO DE LOS BLOQUES		
BLOQUE	ESTADO	TIPO

Tabla B6. 17 Lista de las posibles instrucciones a enviar a los bloques de sensores y actuadores

COMUNICACIÓN CON LOS BLOQUES (INPUT)	
SENSOR LSXi	
INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
0	Salir de máquina
1	Entrar a máquina
2	Continuar por la cinta principal
4	Soporte detectado en bloque equivocado
6	Cinta de salida 1
7	Cinta de salida 2
8	Cinta de salida 3
9	Cinta de salida 4
SENSOR SPOXi	
INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
0	No hay pieza
1	Pieza correcta
2	Pieza incorrecta

Tabla B6. 18 Lista de las posibles instrucciones recibidas de los bloques de sensores y actuadores

COMUNICACIÓN CON LOS BLOQUES (OUTPUT)	
SENSOR LSXo	
INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
XXXX	Código QR del soporte leído
0	El soporte ha salido del bloque y sigue por la línea
3	El soporte ha salido del bloque y ha entrado a pulmón
5	Paro de emergencia del bloque
SENSOR SPOXo	
INSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
Imagen	Imagen a procesar para comprobar que la pieza colocada sobre el soporte es la correcta.

- Ejemplo de las listas de información del programa de control para dos piezas

Tabla B6. 19 Ejemplo de la lista de correlación de piezas y soportes para dos piezas

CORRELACIÓN DE PIEZAS Y SOPORTES			
SOPORTE (QR)	PIEZA	ULTIMA UBICACIÓN	ULTIMA OPERACIÓN REALIZADA
0001	Eje primario	Bloque 7	CONTINUAR POR LA LÍNEA
0002	Eje secundario	Bloque 3	ACCESO A PULMÓN TOR1

Tabla B6. 20 Ejemplo de la lista de información guardada del soporte 0001

SOPORTE (QR): 0001					
RECORRIDO	OPERACIÓN	FECHA	HORA	OPERARIO AL CARGO	COMENTARIOS
Bloque 1	ENTRADA A LA LÍNEA	18/12/2017	09:06	J. Santiago	
Bloque 3	ACCESO A PULMÓN TOR1	18/12/2017	09:06	J. Santiago	
Bloque 4	REFRENTADO Y AGUJERO PARA CENTROS	18/12/2017	09:11	J. Santiago	
Bloque 3	CONTINUAR POR LA LÍNEA	18/12/2017	09:13	J. Santiago	
Bloque 5	ACCESO A PULMÓN TOR2.1	18/12/2017	09:13	J. Santiago	
Bloque 6	CILINDRADO Y RANURADO CARA A	18/12/2017	09:21	J. Santiago	
Bloque 5	CONTINUAR POR LA LÍNEA	18/12/2017	09:26	J. Santiago	
Bloque 7	CONTINUAR POR LA LÍNEA	18/12/2017	09:26	J. Santiago	

Tabla B6. 21 Ejemplo de la lista de información guardada del soporte 0002

SOPORTE (QR): 0002					
RECORRIDO	OPERACIÓN	FECHA	HORA	OPERARIO AL CARGO	COMENTARIOS
Bloque 2	ENTRADA A LA LÍNEA	18/12/2017	09:26	J. Santiago	
Bloque 3	ACCESO A PULMÓN TOR1	18/12/2017	09:26	J. Santiago	

Tabla B6. 22 Lista de operaciones a realizar en las piezas "Eje primario"

OPERACIONES PARA EJE PRIMARIO				
OPERACIÓN	MÁQUINAS DONDE REALIZAR LA OPERACIÓN	BLOQUE DE ACCESO A LA OPERACIÓN	BLOQUE DE LA OPERACIÓN	CÓDIGO CNC DE LA OPERACIÓN
ENTRADA A LA LÍNEA	NO PORCEDE	Bloque 43	Bloque 1	NO PROCEDE
REFRENTADO Y AGUJERO PARA CENTROS	TOR1	Bloque 3	Bloque 4	EJE PRIMARIO – TOR1.nc
CILINDRADO Y RANURADO CARA A	TOR2.1	Bloque 5	Bloque 6	EJE PRIMARIO – TOR2.nc
	TOR2.2	Bloque 7	Bloque 8	
	TOR2.3	Bloque 9	Bloque 10	
CILINDRADO Y RANURADO CARA B	TOR3.1	Bloque 11	Bloque 12	EJE PRIMARIO – TOR3.nc
	TOR3.2	Bloque 13	Bloque 14	
	TOR3.3	Bloque 15	Bloque 16	
MECANIZADO DENTADO 1	FRES1	Bloque 17	Bloque 18	EJE PRIMARIO – FRES1.nc
	FRES2	Bloque 19	Bloque 20	
	FRES3	Bloque 21	Bloque 22	
MECANIZADO DENTADO 2	FRES1	Bloque 17	Bloque 18	EJE PRIMARIO – FRES2.nc
	FRES2	Bloque 19	Bloque 20	
	FRES3	Bloque 21	Bloque 22	
ESTRIADO	LAM1	Bloque 23	Bloque 24	EJE PRIMARIO – LAM1.nc
ACHAFLANADO 1	ACHAFLA1	Bloque 25	Bloque 26	EJE PRIMARIO – ACHAFLA1.nc
	ACHAFLA2	Bloque 27	Bloque 28	
	ACHAFLA3	Bloque 29	Bloque 30	

ACHAFLANADO 2	ACHAFL1	Bloque 25	Bloque 26	EJE PRIMARIO – ACHAFLA2.nc
	ACHAFL2	Bloque 27	Bloque 28	
	ACHAFL3	Bloque 29	Bloque 30	
ACHAFLANADO 3	ACHAFL1	Bloque 25	Bloque 26	EJE PRIMARIO – ACHAFLA3.nc
	ACHAFL2	Bloque 27	Bloque 28	
	ACHAFL3	Bloque 29	Bloque 30	
SALIDA A TRATAMIENTO TÉRMICO	NO PORCEDE	Bloque 31	Bloque 32	NO PROCEDE
ENTRADA DESPUES DE TRATAMIENTO TÉRMICO	NO PORCEDE	Bloque 32	Bloque 35	NO PROCEDE
RECTIFICADO 1	RECT1	Bloque 36	Bloque 37	EJE PRIMARIO – RECT1.nc
	RECT2	Bloque 38	Bloque 39	
	RECT3	Bloque 40	Bloque 41	
RECTIFICADO 2	RECT1	Bloque 36	Bloque 37	EJE PRIMARIO – RECT2.nc
	RECT2	Bloque 38	Bloque 39	
	RECT3	Bloque 40	Bloque 41	
RECTIFICADO 3	RECT1	Bloque 36	Bloque 37	EJE PRIMARIO – RECT3.nc
	RECT2	Bloque 38	Bloque 39	
	RECT3	Bloque 40	Bloque 41	
SALIDA LÍNEA	NO PORCEDE	Bloque 42	Bloque 43	NO PROCEDE

Tabla B6. 23 Lista de operaciones a realizar en las piezas “Eje secundario”

OPERACIONES PARA EJE SECUNDARIO				
OPERACIÓN	MÁQUINAS DONDE REALIZAR LA OPERACIÓN	BLOQUE DE ACCESO A LA OPERACIÓN	BLOQUE DE LA OPERACIÓN	CÓDIGO CNC DE LA OPERACIÓN
ENTRADA A LA LÍNEA	NO PORCEDE	Bloque 44	Bloque 2	NO PROCEDE
REFRENTADO Y AGUJERO PARA CENTROS	TOR1	Bloque 3	Bloque 4	EJE SECUNDARIO – TOR1.nc
CILINDRADO Y RANURADO CARA A	TOR2.1	Bloque 5	Bloque 6	EJE SECUNDARIO – TOR2.nc
	TOR2.2	Bloque 7	Bloque 8	
	TOR2.3	Bloque 9	Bloque 10	
CILINDRADO Y RANURADO CARA B	TOR3.1	Bloque 11	Bloque 12	EJE SECUNDARIO – TOR3.nc
	TOR3.2	Bloque 13	Bloque 14	
	TOR3.3	Bloque 15	Bloque 16	
MECANIZADO DENTADO 1	FRES1	Bloque 17	Bloque 18	EJE SECUNDARIO – FRES1.nc
	FRES2	Bloque 19	Bloque 20	
	FRES3	Bloque 21	Bloque 22	
ESTRIADO	LAM1	Bloque 23	Bloque 24	EJE SECUNDARIO – LAM1.nc
ACHAFLANADO 1	ACHAFL1	Bloque 25	Bloque 26	EJE SECUNDARIO – ACHAFLA1.nc
	ACHAFL2	Bloque 27	Bloque 28	
	ACHAFL3	Bloque 29	Bloque 30	
ACHAFLANADO 2	ACHAFL1	Bloque 25	Bloque 26	EJE SECUNDARIO – ACHAFLA2.nc
	ACHAFL2	Bloque 27	Bloque 28	
	ACHAFL3	Bloque 29	Bloque 30	
SALIDA A TRATAMIENTO TÉRMICO	NO PORCEDE	Bloque 31	Bloque 33	NO PROCEDE
ENTRADA DESPUES DE TRATAMIENTO TÉRMICO	NO PORCEDE	Bloque 33	Bloque 34	NO PROCEDE
RECTIFICADO 1	RECT1	Bloque 36	Bloque 37	EJE

	RECT2	Bloque 38	Bloque 39	SECUNDARIO –
	RECT3	Bloque 40	Bloque 41	RECT1.nc
RECTIFICADO 2	RECT1	Bloque 36	Bloque 37	EJE
	RECT2	Bloque 38	Bloque 39	SECUNDARIO –
	RECT3	Bloque 40	Bloque 41	RECT2.nc
SALIDA DE LA LÍNEA	NO PORCEDE	Bloque 42	Bloque 44	NO PROCEDE

Tabla B6. 24 Lista del estado de las máquinas de la línea para ejes

ESTADO DE LAS MÁQUINAS		
MÁQUINA	ESTADO	PIEZAS EN PULMÓN
TOR1	OK	7
TOR2.1	OK	6
TOR2.2	OK	5
TOR2.3	PE	0
TOR3.1	OK	2
TOR3.2	OK	2
TOR3.3	OK	1
FRES1	OK	3
FRES2	OK	2
FRES3	OK	0
LAM1	OK	4
ACHAFL1	OK	1
ACHAFL2	OK	0
ACHAFL3	PE	0
RECT1	OK	1
RECT2	OK	1
RECT3	OK	0

Tabla B6. 25 Lista del estado de los bloques de sensores y actuadores de la línea para ejes

ESTADO DE LOS BLOQUES		
BLOQUE	ESTADO	TIPO
Bloque 0	Ok	F
Bloque 1	Ok	D
Bloque 2	OK	D
Bloque 3	OK	B
Bloque 4	Ok	A
Bloque 5	OK	B
Bloque 6	OK	A
Bloque 7	Ok	B
Bloque 8	OK	A
Bloque 9	OK	B
Bloque 10	PE	A
Bloque 11	OK	B
Bloque 12	OK	A
Bloque 13	Ok	B
Bloque 14	OK	A
Bloque 15	OK	B
Bloque 16	Ok	A
Bloque 17	OK	B
Bloque 18	OK	A
Bloque 19	Ok	B
Bloque 20	OK	A
Bloque 21	OK	B
Bloque 22	Ok	A
Bloque 23	OK	B
Bloque 24	OK	A
Bloque 25	Ok	B
Bloque 26	OK	A
Bloque 27	OK	B
Bloque 28	Ok	A
Bloque 29	OK	B
Bloque 30	PE	A
Bloque 31	Ok	E

Bloque 32	OK	C
Bloque 33	OK	C
Bloque 34	Ok	D
Bloque 35	OK	D
Bloque 36	OK	B
Bloque 37	Ok	A
Bloque 38	OK	B
Bloque 39	OK	A
Bloque 40	Ok	B
Bloque 41	OK	A
Bloque 42	OK	E
Bloque 43	OK	C
Bloque 44	OK	C

Diseño en SolidWorks de la línea productiva de los ejes

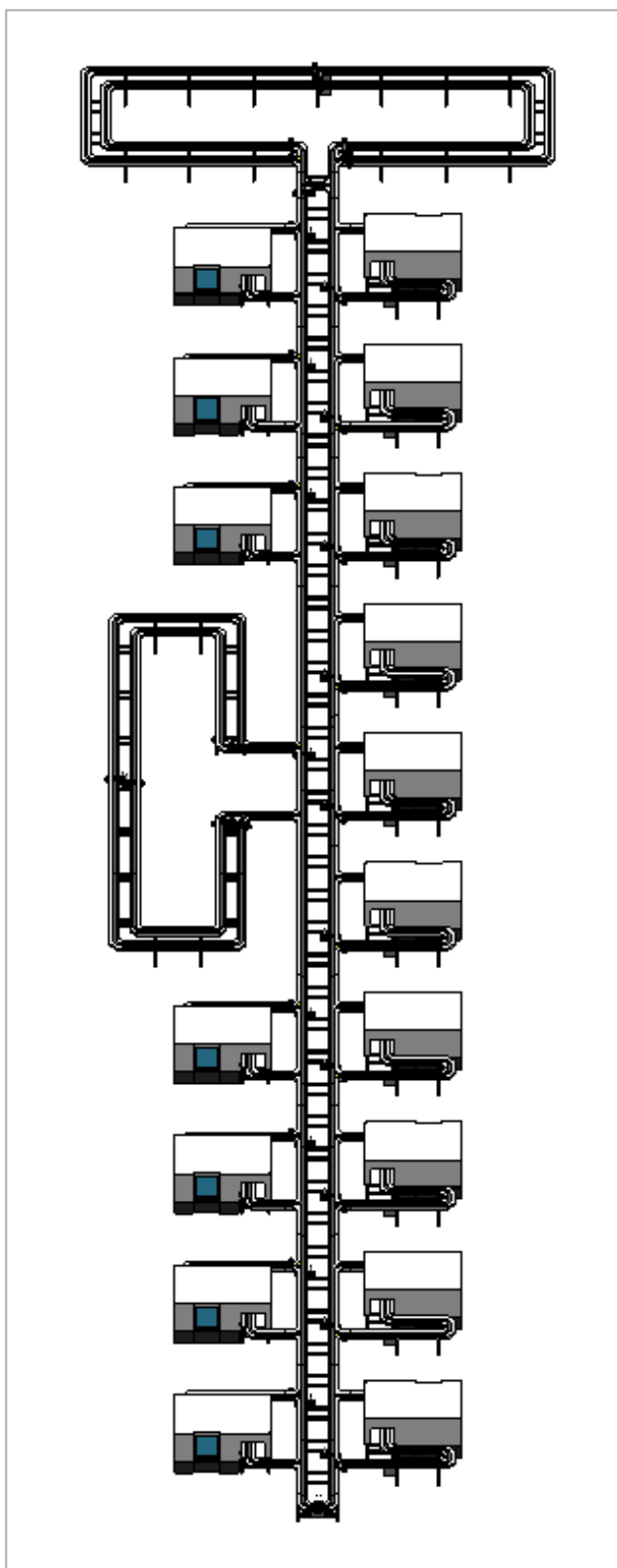


Imagen B6. 19 Línea de producción de los ejes

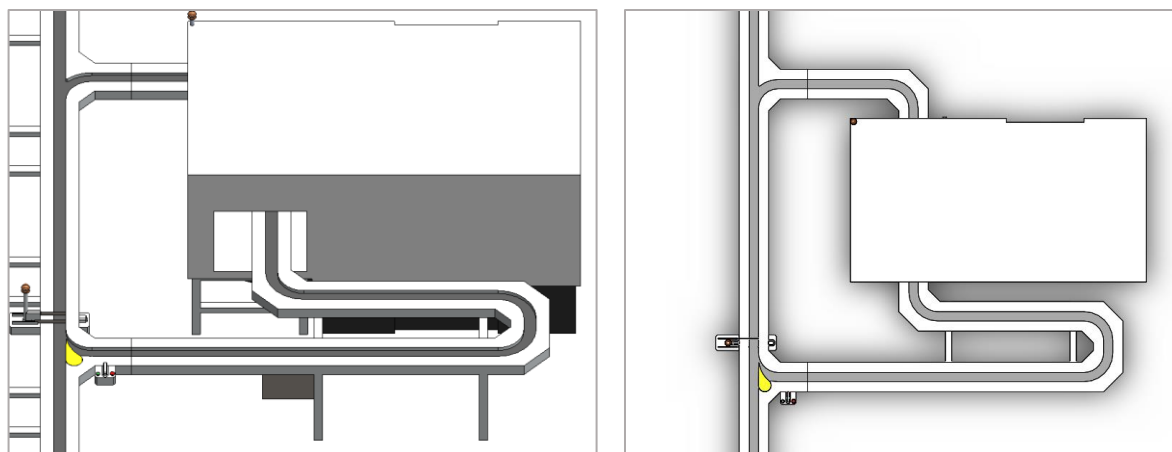


Imagen B6. 20 Ampliación de una máquina

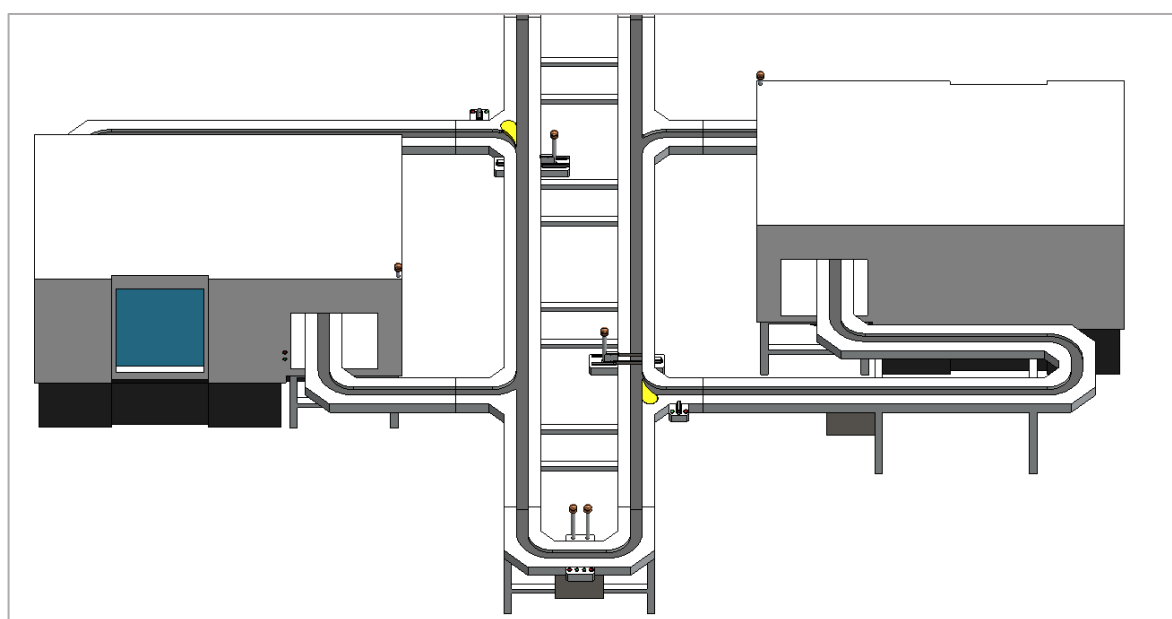


Imagen B6. 21 Ampliación de las máquinas FRES3 y LAM1 y del bloque 0

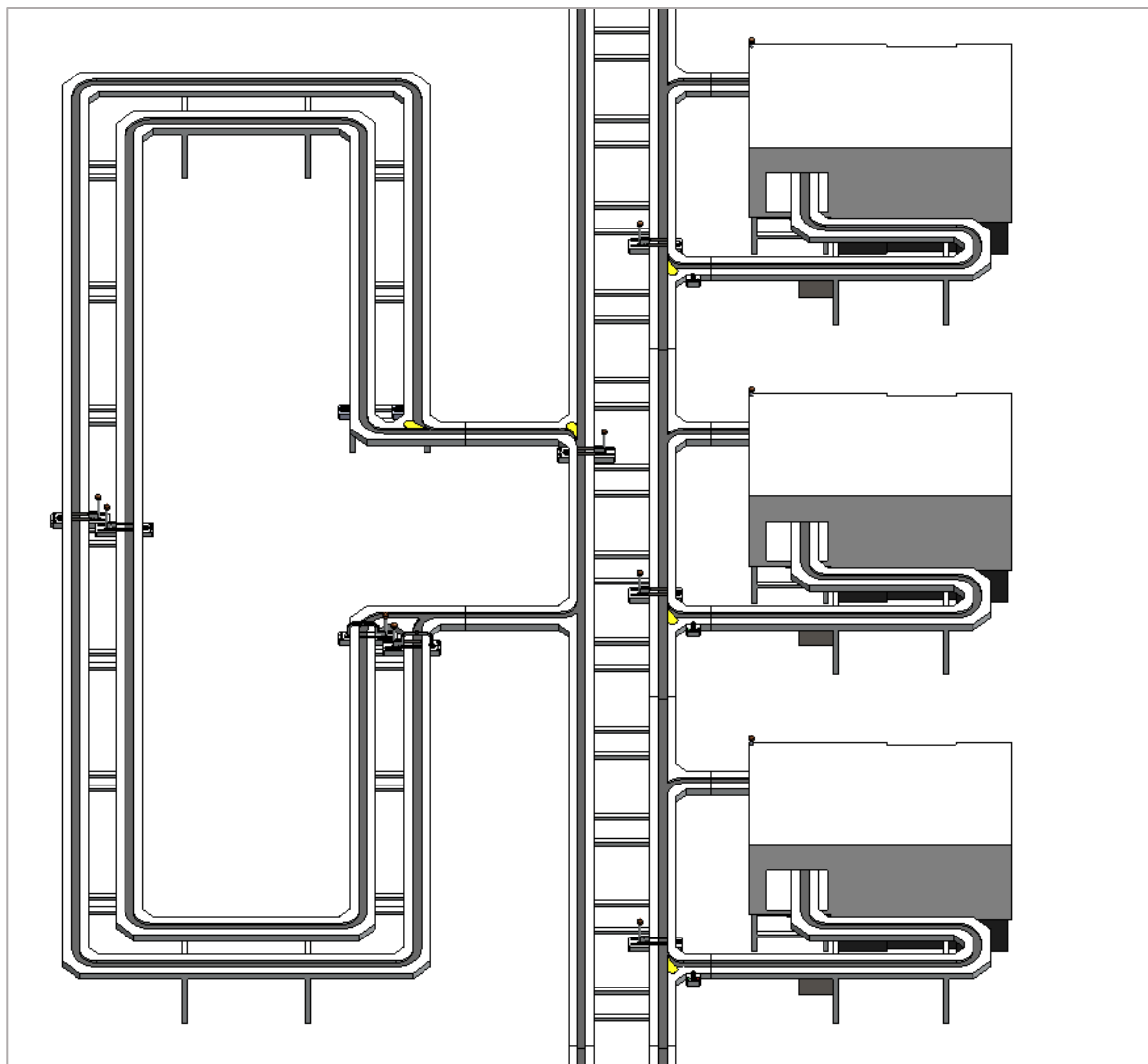


Imagen B6. 22 Ampliación de las máquinas TOR2 y TOR3 y de la salida/entrada a tratamiento térmico

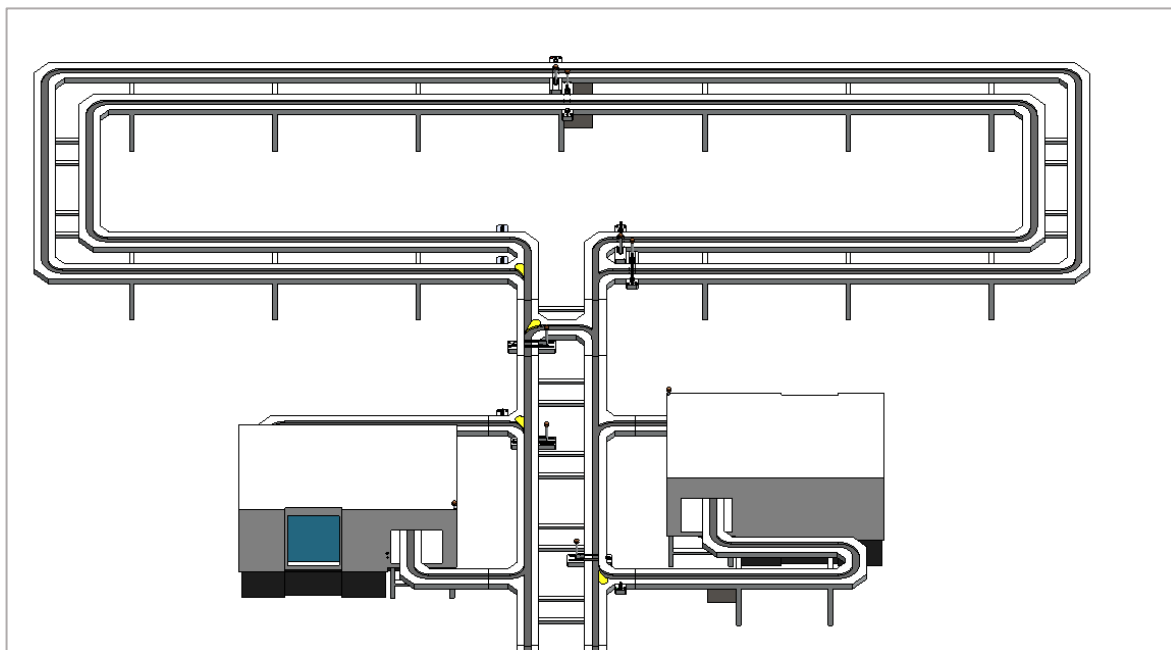


Imagen B6. 23 Ampliación de las máquinas TOR1 y RECT3 y de la salida/entrada de material

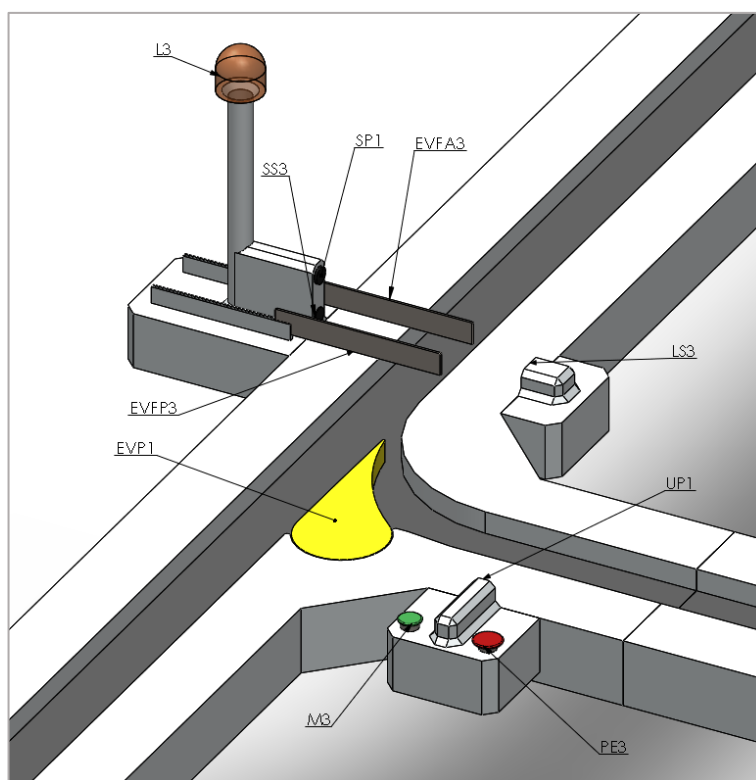


Imagen B6. 24 Bloque de sensores y actuadores 3 (tipo B)

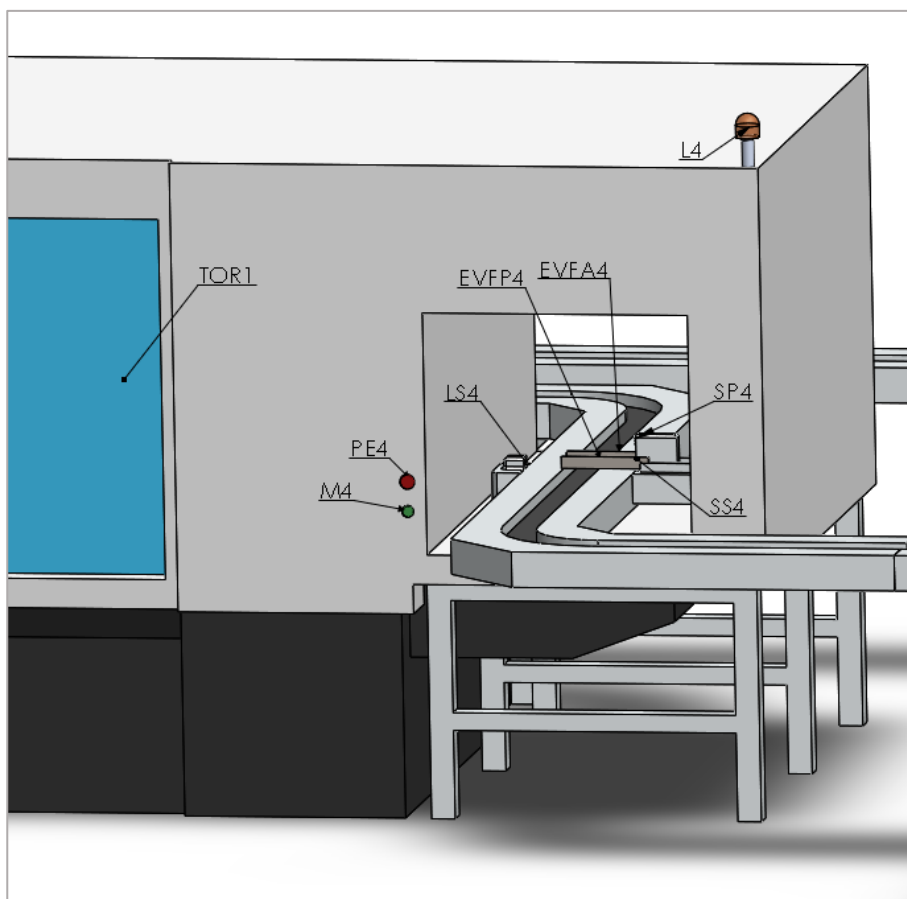


Imagen B6. 25 Bloque de sensores y actuadores 4 (tipo A) y maquina TOR1

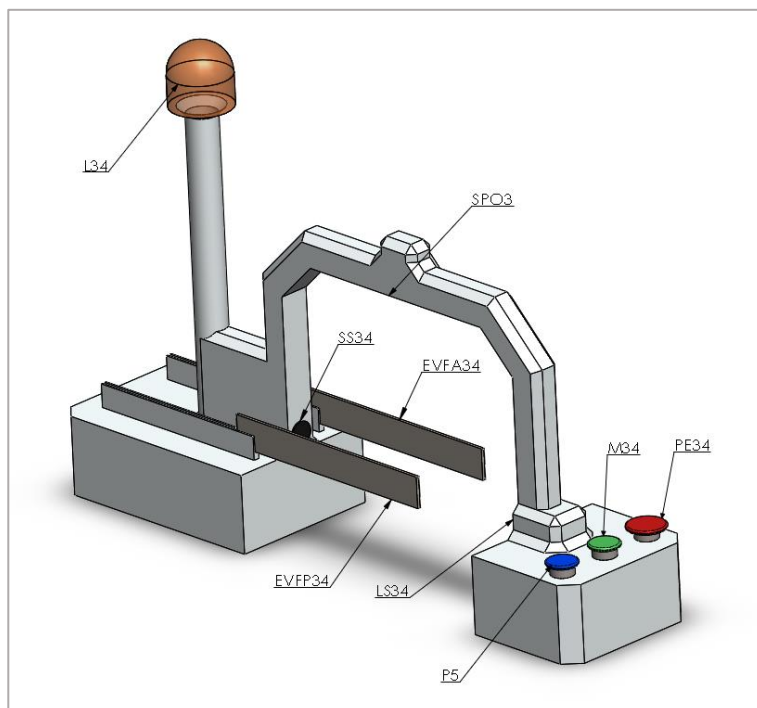


Imagen B6. 26 Bloque de sensores y actuadores 34 (tipo D)

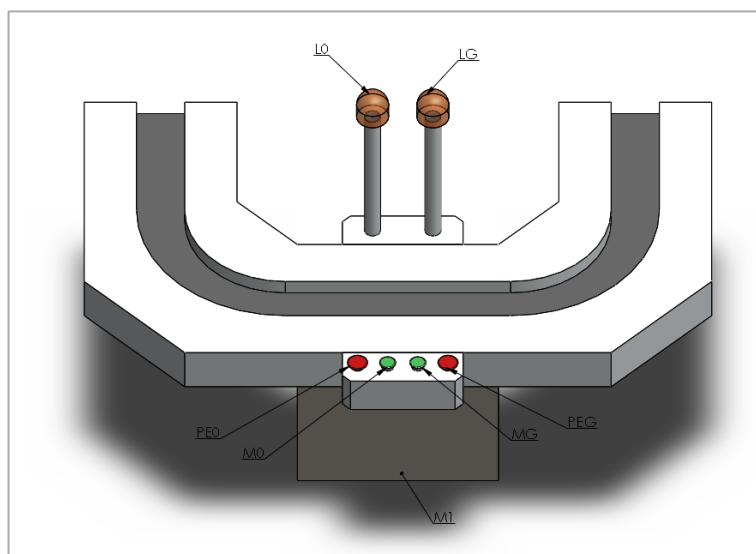


Imagen B6. 27 Bloque de sensores y actuadores 0 (tipo F)

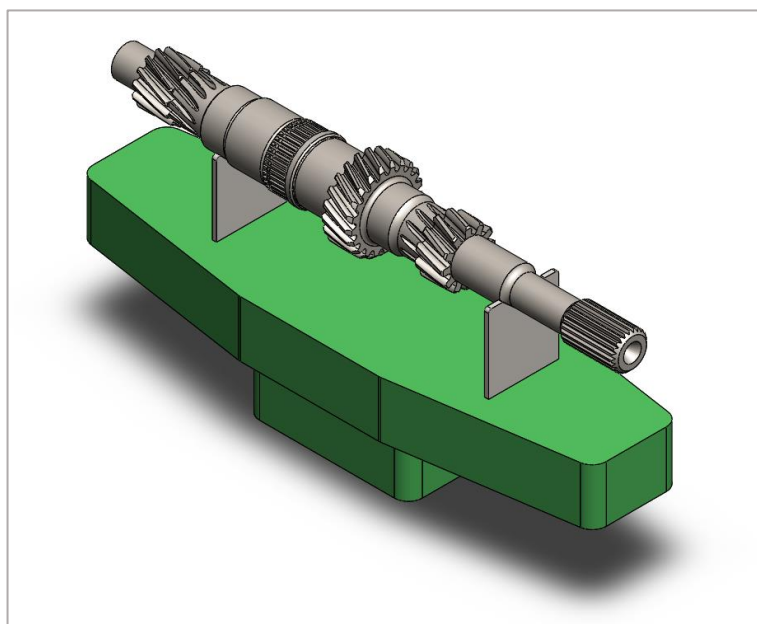


Imagen B6. 28 Pieza "eje primario" sobre su soporte

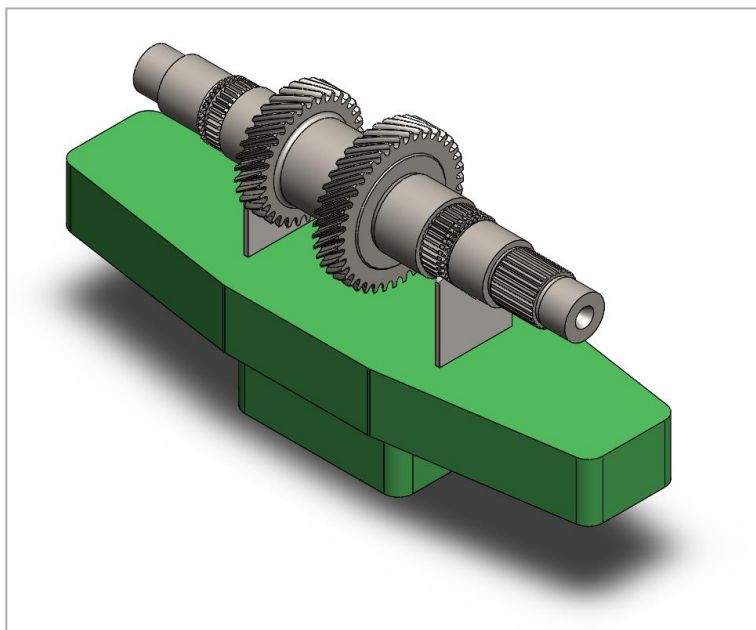


Imagen B6. 29 Pieza “eje secundario” sobre su soporte

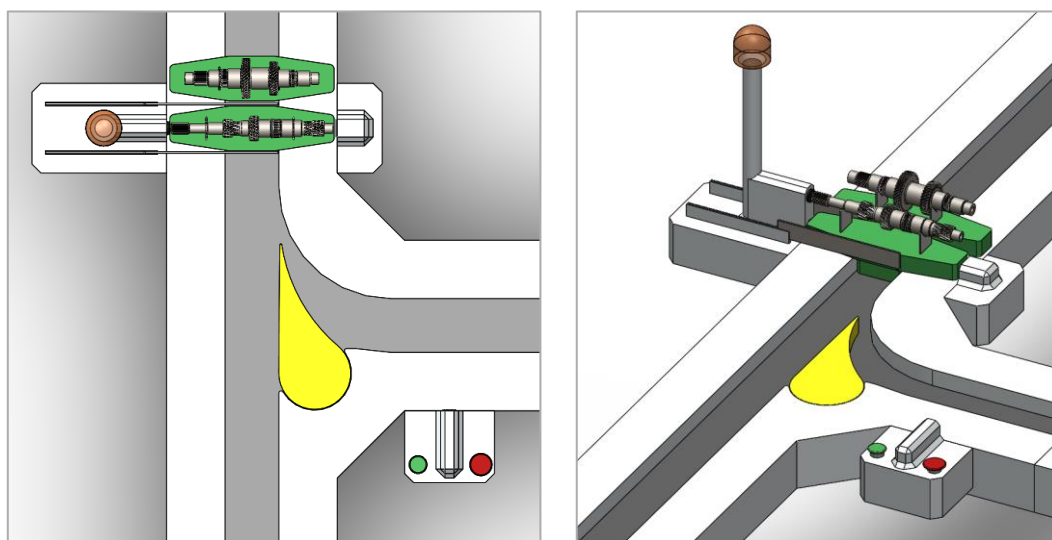


Imagen B6. 30 Piezas en un bloque tipo B

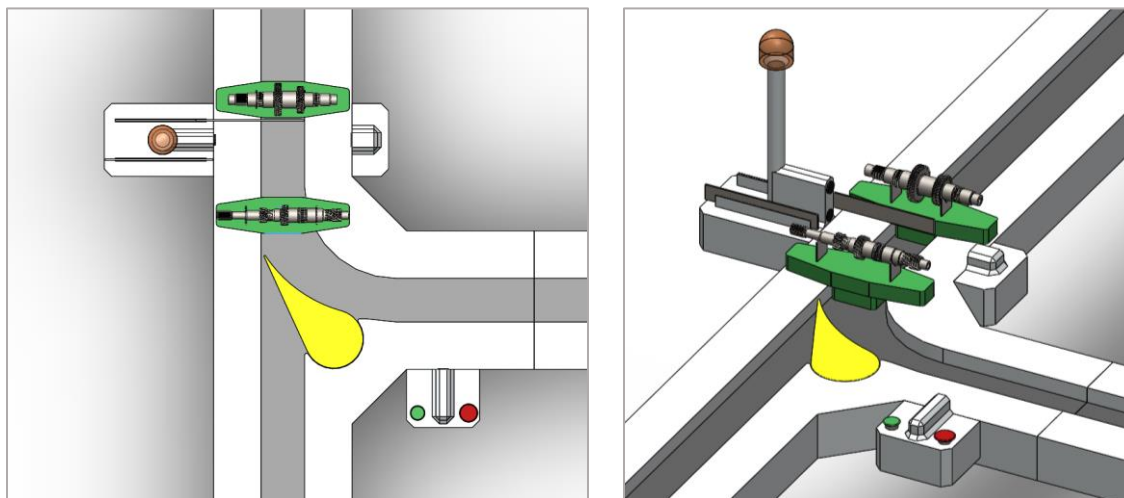


Imagen B6. 31 Piezas saliendo del bloque tipo B para entrar a pulmón

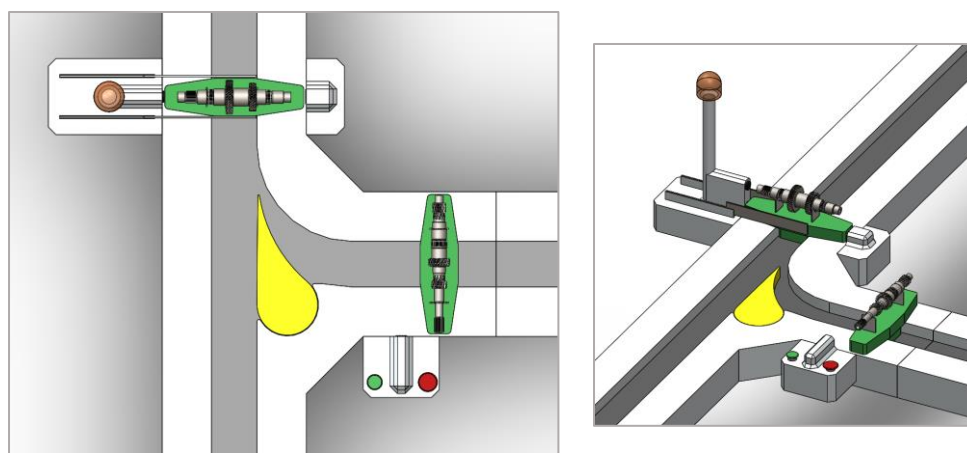


Imagen B6. 32 Piezas entrando a pulmón y siguiente pieza en el bloque tipo B

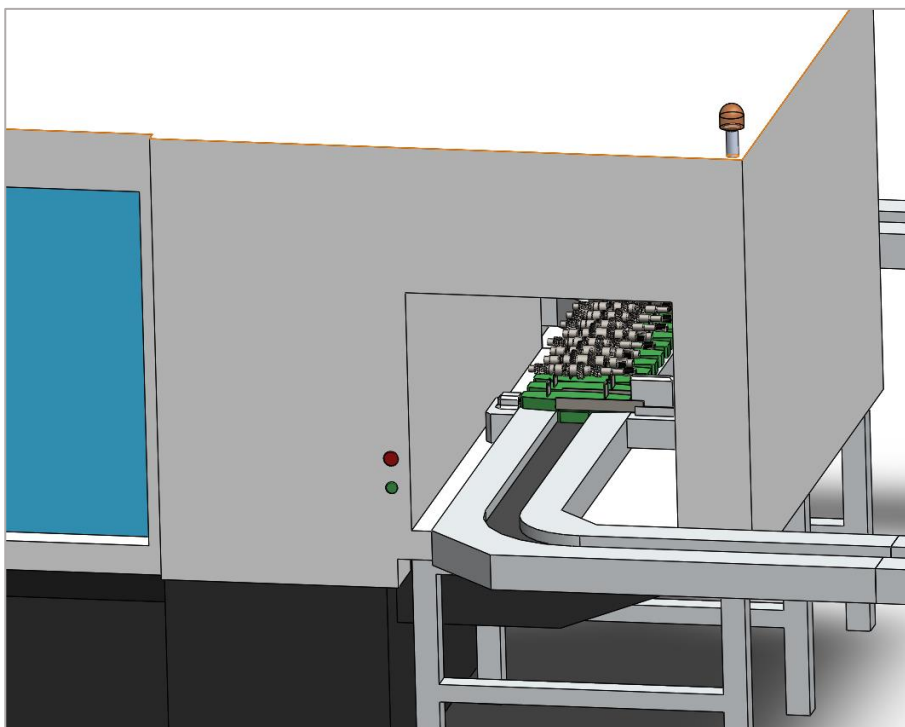


Imagen B6. 33 Máquina procesando una pieza y pulmón de piezas a la espera

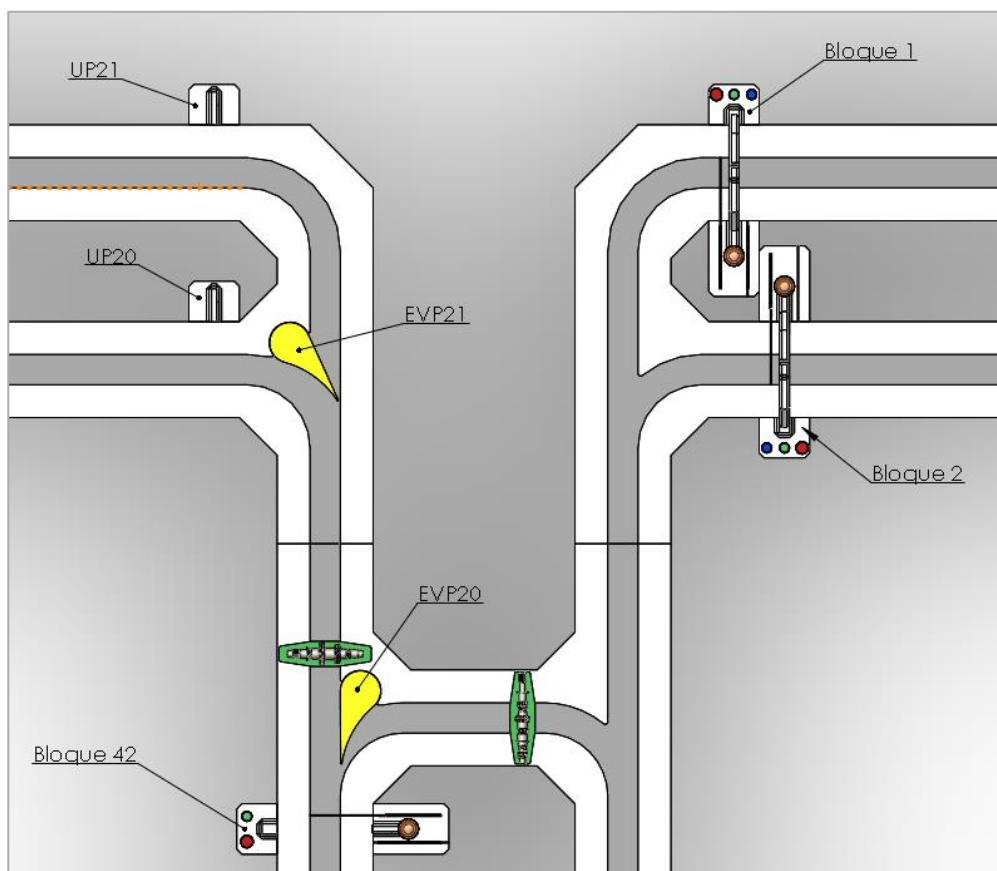


Imagen B6. 34 Salida/entrada de material con una pieza girando por la cinta y otra saliendo de la línea


Anexo C

En el Anexo C se incluirá la siguiente información:

C1. Plantilla control de calidad

C2. Controles de calidad según proceso

C1 Plantilla control de calidad

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est		Plan de control fabricación			
Denominación pieza:		Elaborado por:	Alex Bayón	Operación:	
Nº plano:			José Santiago	Nº Máquina:	
Material:	18CrNiMo7-6 (1.6587)	Fecha:		Fecha control:	
Semiproducto:	CONFORMADO DE FORJA	Revisión:	01-12-2017	Operario:	

ANOTAR VALORES EN HOJA DE CONTROL

CONTROL VISUAL

MEDIDAS FUERA DE TOLERANCIA

1 - CORREGIR MAQUINA
 2- SELECCIONAR PIEZAS DESDE ÚLTIMO CONTROL
 3 - VERIFICAR PIEZAS DESDE ÚLTIMO CONTROL
 4 - CONTROLAR DOS PIEZAS DESPUES DE PUESTA A PUNTO Y CAMBIO DE HERRAMIENTA

[illegible]**Tabla C1. 1** Plantilla para el plan de control de fabricación

C2 Controles de calidad según proceso





Anexo D

En el Anexo C se incluirá la siguiente información:

- D1. Aspectos considerados
- D2. Edición en SolidWorks
- D3. Edición en Meshmixer
- D4. Cura BCN3D – Conversión a G-code
- D5. Impresión de las piezas
- D6. Ensamblaje de la maqueta

D1. Aspectos considerados

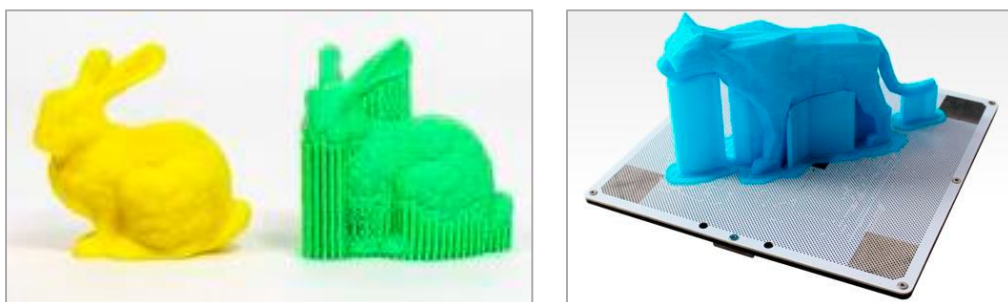


Imagen D1. 1 Ejemplos de piezas impresas con estructuras de soporte

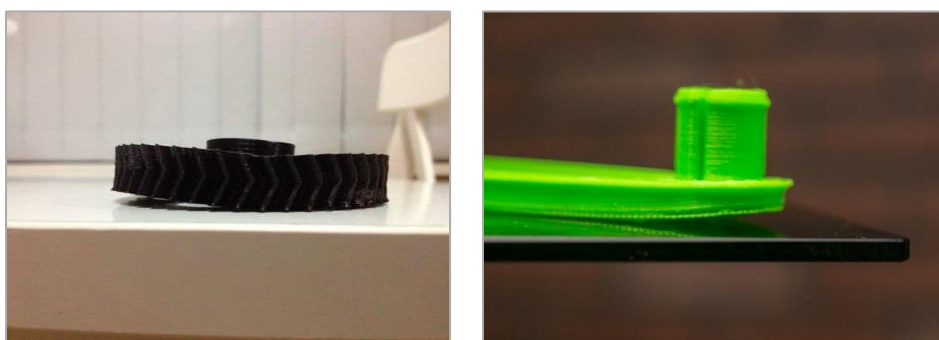


Imagen D1. 2 Ejemplos de piezas deformadas a causa del efecto warping

Tabla D1. 1 Características principales de la impresora 3D utilizada

CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA 3D	
DIMENSIONES FÍSICAS	
DIMENSIONES	465mm x 440mm x 680mm
PESO	15kg
PROPIEDADES DE LA IMPRESORA	
ARQUITECTURA	IDEX (Independent Dual Extruders)
TECNOLOGÍA	FFF (Fused Filament Fabrication)
VOLUMEN MÁXIMO DE IMPRESIÓN	210mm (Eje X) x 297mm (Eje Y) x 210mm (Eje Z)
PLANO DE IMPRESIÓN	Eje X – Eje Y
EJE VERTICAL	Eje Z
NÚMERO DE EXTRUSORES	2
CAMA CALIENTE	Si (PCB)
NOZZLES (HOTENDS) UTILIZADOS	0,4mm (ambos)
CONSUMO ELÉCTRICO	240W
PROPIEDADES DE IMPRESIÓN	
RANGO DE ALTURAS DE CAPA	0,05 - 0,5mm
TEMPERATURA MÁXIMA DE HOTEND	290°C
TEMPERATURA MÁXIMA DE IMPRESIÓN	280°C
TEMPERATURA MÁXIMA DE CAMA CALIENTE	100°C

D2. Edición en SolidWorks

- Modificación 1

Aumento de 1mm del diámetro interior para facilitar el juego respecto al eje interno.

En la Tabla D2. 1 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación.

Además, en la Imagen D2. 1, Imagen D2. 2, Imagen D2. 3 e Imagen D2. 4 se pueden ver ejemplos de varios tipos de piezas en los que se ha aplicado dicho ajuste.

Tabla D2. 1 Lista de archivos afectadas por la modificación 1

LISTA DE ARCHIVOS
ARO_1 1ª y 2ª
ARO_1 3ª
ARO_1 4ª
ARO_1 5ª
ARO_1 MA
horquilla 1a-2ª
horquilla 3a-4a.a
Interior (Rodamiento conico eje primario 1a)
Interior (Rodamiento conico eje primario MA)
Interior (Rodamiento conico eje secundario)
SATELITE
Interior (Rodamiento conico corona)

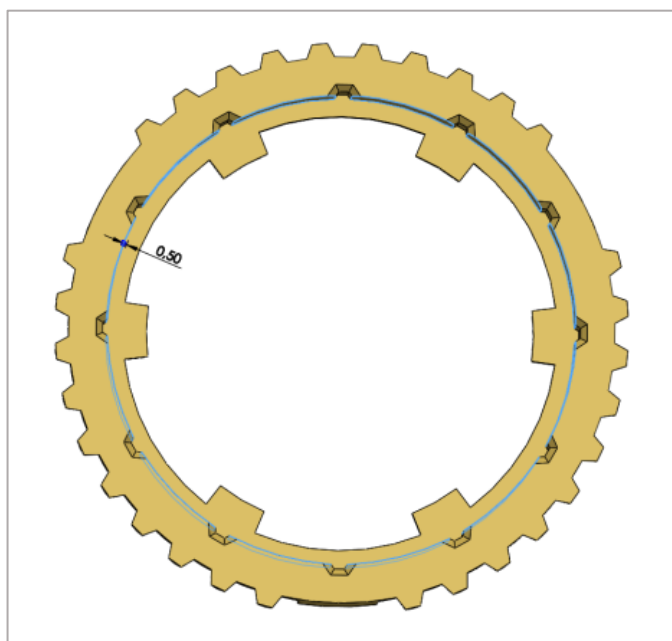


Imagen D2. 1 Modificación realizada sobre el archivo ARO_1 1ª y 2ª

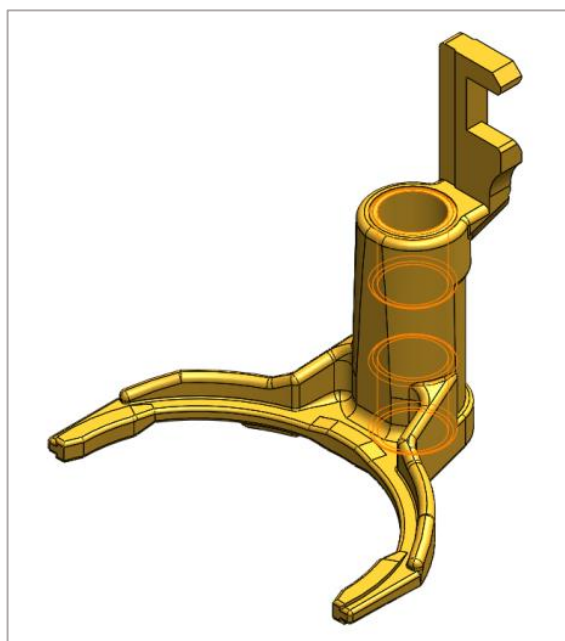


Imagen D2. 2 Modificación realizada sobre el archivo horquilla 1a-2ª

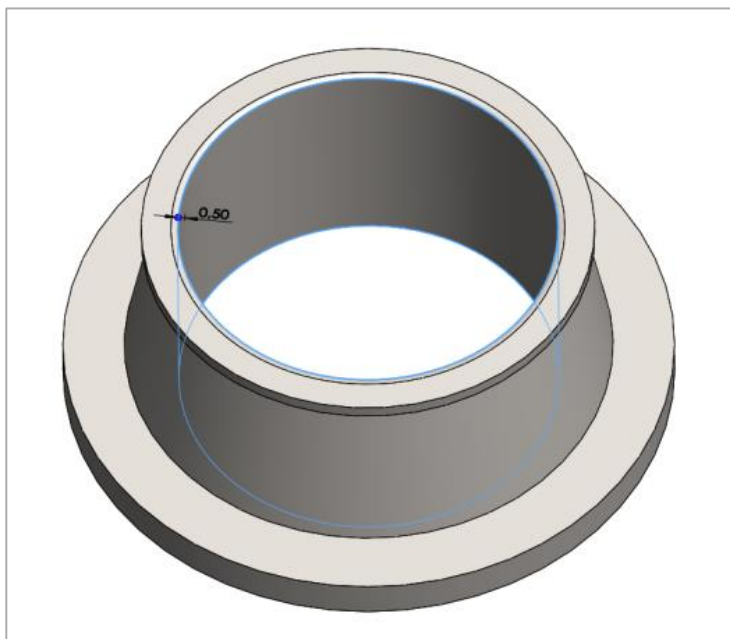


Imagen D2. 3 Modificación realizada sobre el archivo Interior (Rodamiento conico eje primario 1a)

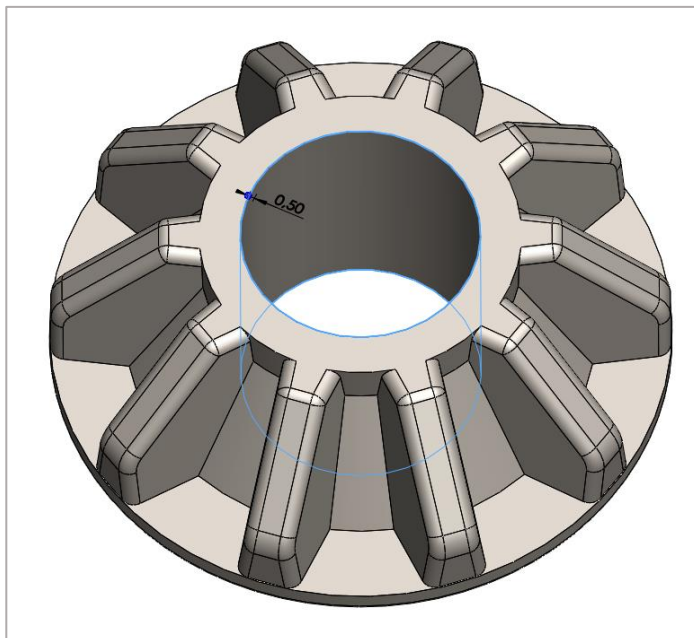


Imagen D2. 4 Modificación realizada sobre el archivo SATELITE

- Modificación 2

División de piezas en partes ensamblables entre sí, para facilitar su colocación sobre la cama caliente y su correspondiente impresión.

En la Tabla D2. 2 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como los archivos resultantes de cada división. En los archivos resultantes se ha respetado el nombre del archivo original añadiendo “_A” o “_B” respectivamente.

Asimismo, en la Imagen D2. 5, Imagen D2. 6, Imagen D2. 7 e Imagen D2. 8 se pueden ver los archivos sobre los que se ha aplicado dicho ajuste.

Tabla D2. 2 Lista de archivos afectadas por la modificación 2

LISTA DE ARCHIVOS		
ARCHIVO ORIGINAL	ARCHIVOS RESULTANTES	
P3.b	P3.b_A	P3.b_B
P5.a	P5.a_A	P5.a_B
P7.a	P7.a_A	P7.a_B
Caja diferencial	Caja diferencial_A	Caja diferencial_B

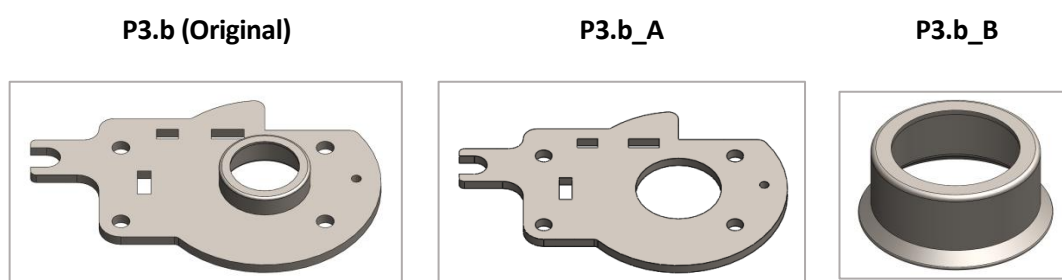


Imagen D2. 5 Modificación realizada sobre el archivo P3.b

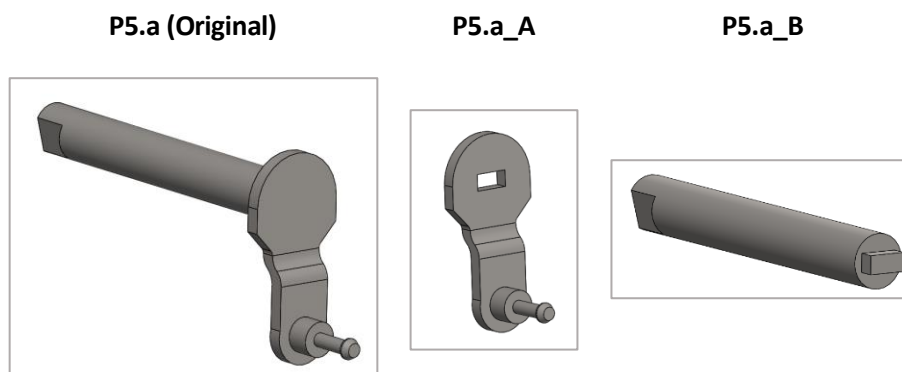
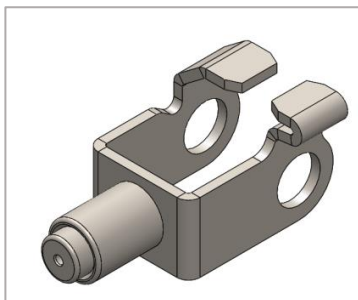
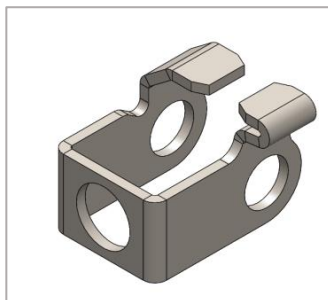
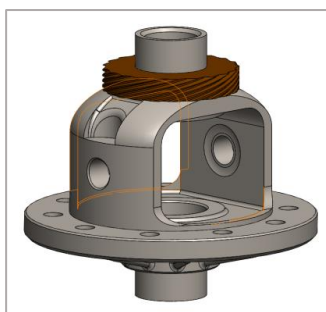
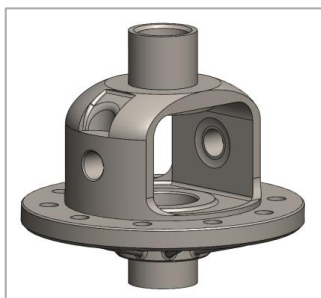
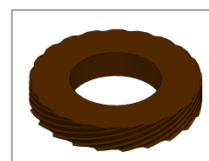


Imagen D2. 6 Modificación realizada sobre el archivo P5.a

P7.a (Original)**P7.a _A****P7.a _B****Imagen D2. 7** Modificación realizada sobre el archivo P7.a**Caja diferencial (Original)****Caja diferencial _A****Caja diferencial _B****Imagen D2. 8** Modificación realizada sobre el archivo Caja diferencial

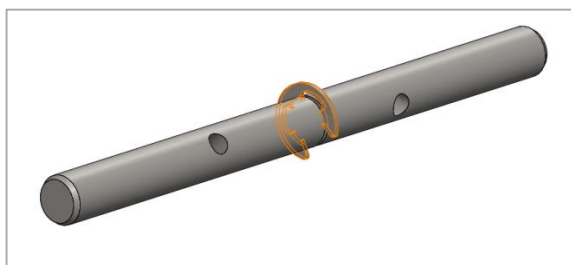
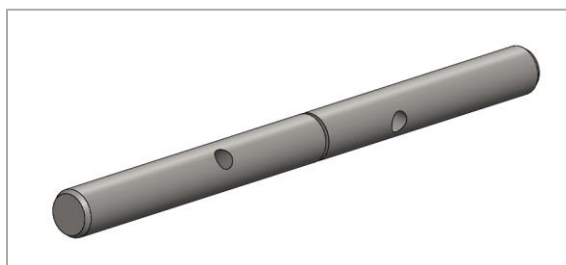
- **Modificación 3**

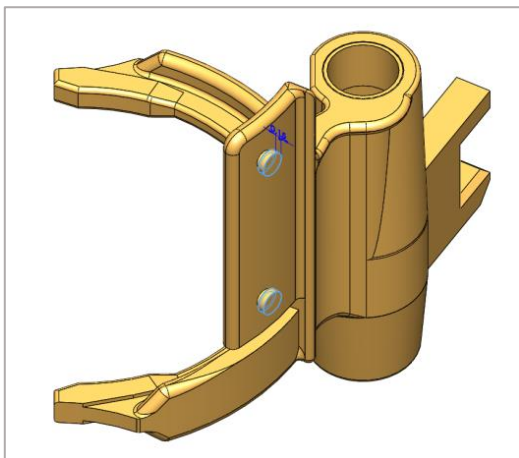
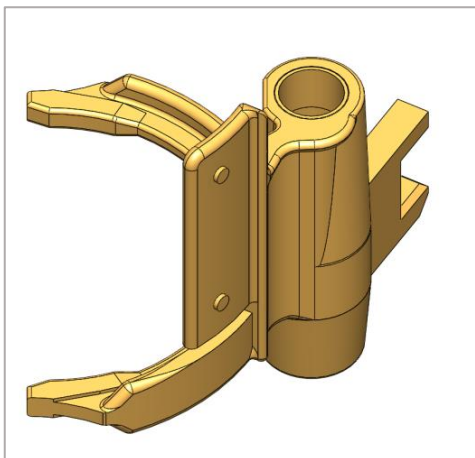
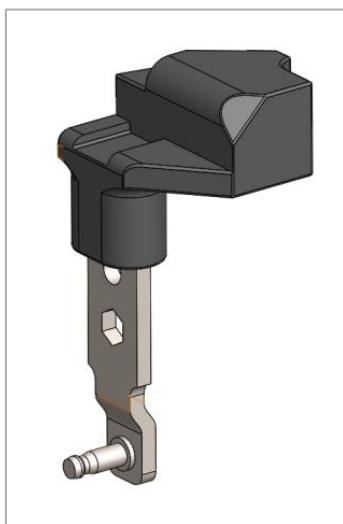
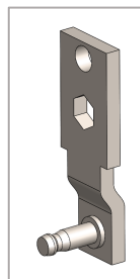
Eliminación de partes específicas de piezas con el objetivo de facilitar su impresión o su ensamblaje con otras piezas.

En la **Tabla D2. 3** se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como una descripción del motivo de cada eliminación.

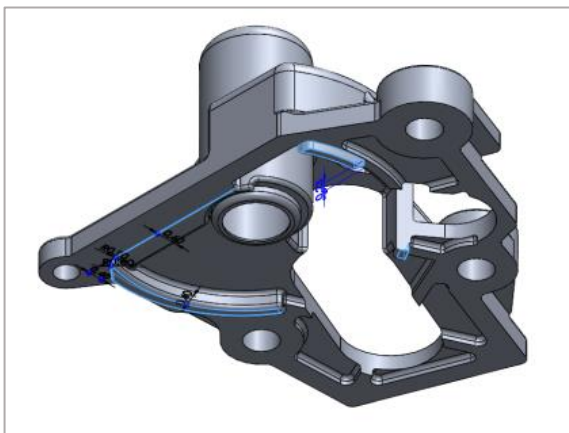
Tabla D2. 3 Lista de archivos afectadas por la modificación 3

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	DESCRIPCIÓN
P1	Supresión del tope central de la pieza que dificulta el movimiento de esta una vez ensamblado (Imagen D2. 9).
horquilla 3a-4a.a	Eliminación de dos remaches para permitir el ensamblaje con la pieza del archivo horquilla 3a-4a.b (Imagen D2. 10).
P4.a	Eliminación del contrapeso de la pieza ya que no es relevante cara a la maqueta, además de facilitar la impresión de la pieza (Imagen D2. 11).
PCarcasa.b	Supresión de salientes para facilitar la colocación de la pieza sobre la cama de impresión (Imagen D2. 12).
carcasa1	Reducción de salientes para facilitar la colocación de la pieza sobre la cama de impresión (Imagen D2. 13).
carcasa2	Supresión de salientes para facilitar la colocación de la pieza sobre la cama de impresión (Imagen D2. 14).

P1 (Original)**P1 (Final)****Imagen D2. 9** Modificación realizada sobre el archivo P1

horquilla 3a-4a.a (Original)**horquilla 3a-4a.a (Final)****Imagen D2. 10** Modificación realizada sobre el archivo horquilla 3a-4a.a**P4.a (Original)****P4.a (Final)****Imagen D2. 11** Modificación realizada sobre el archivo P4.a

PCarcasa.b (Original)



PCarcasa.b (Final)

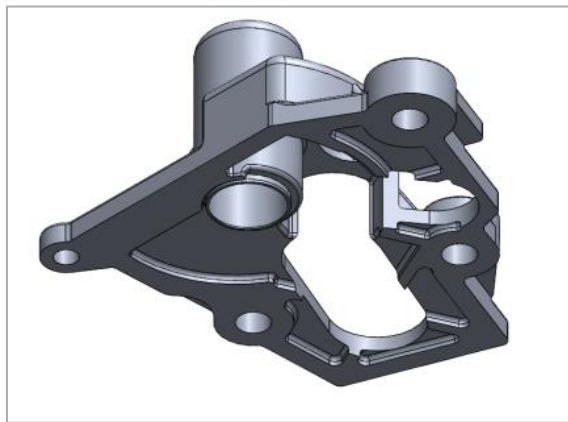
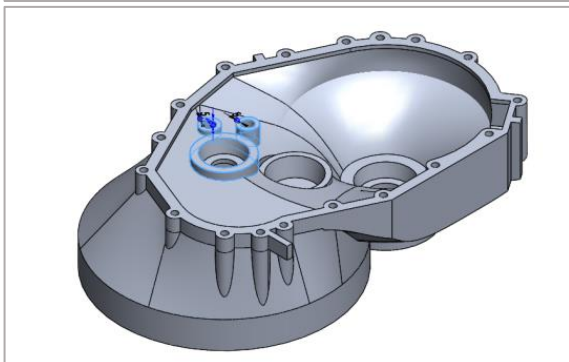
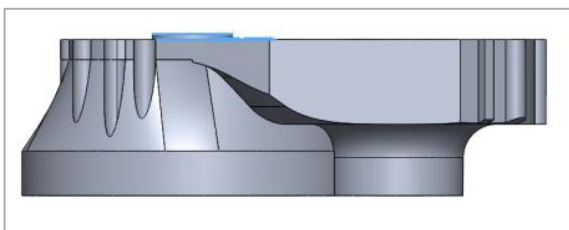


Imagen D2. 12 Modificación realizada sobre el archivo PCarcasa.b

carcasa1 (Original)



carcasa1 (Final)

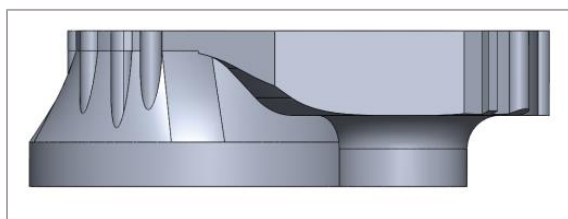
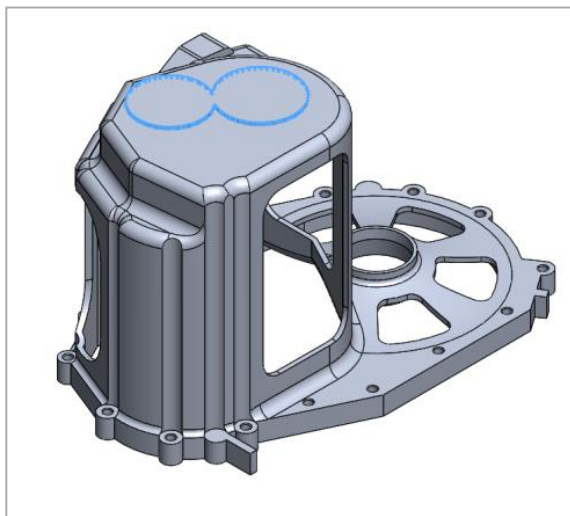


Imagen D2. 13 Modificación realizada sobre el archivo carcasa1

carcasa2 (Original)



carcasa2 (Final)

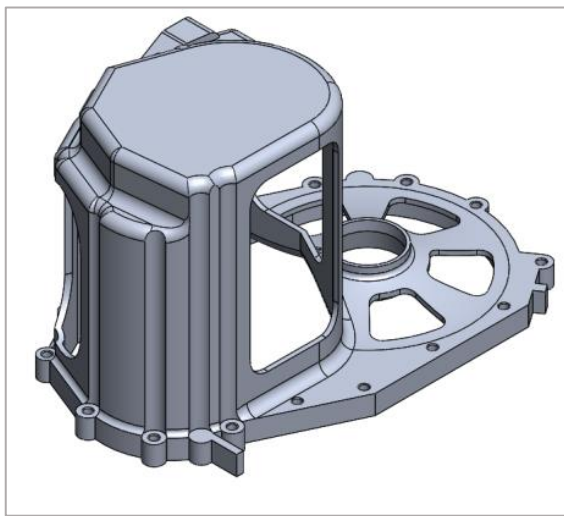


Imagen D2. 14 Modificación realizada sobre el archivo carcasa2

- Modificación 4

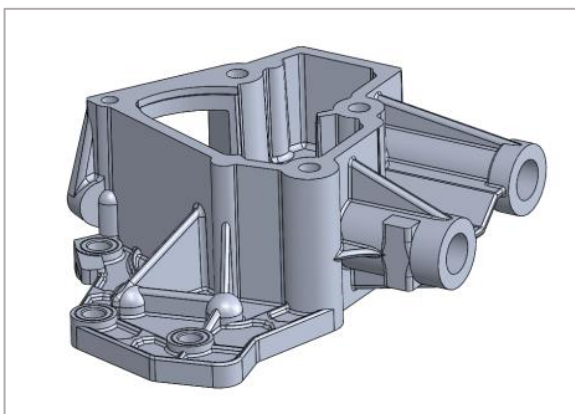
Se ha realizado una serie de aperturas en las diferentes piezas que componen la carcasa exterior con el objetivo de poder visualizar el funcionamiento del mecanismo interno de la caja de cambios.

En la Tabla D2. 4 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como su correlación con las imágenes correspondientes.

Tabla D2. 4 Lista de archivos afectadas por la modificación 4

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	IMAGEN CORRESPONDIENTE
PCarcasa.a	Imagen D2. 15
PCarcasa.b	Imagen D2. 16
carcasa1	Imagen D2. 17
carcasa2	Imagen D2. 18

PCarcasa.a (Original)



PCarcasa.a (Final)

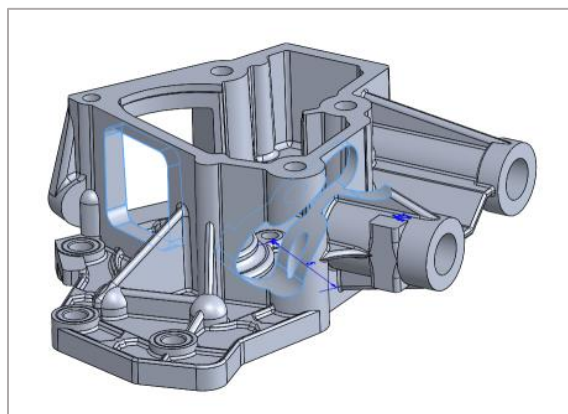
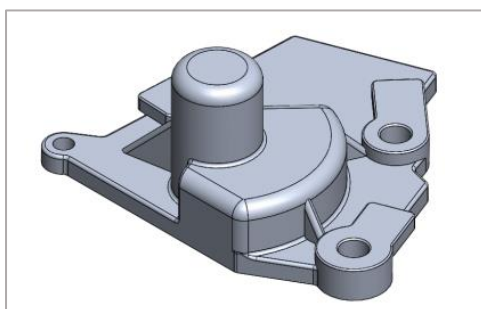


Imagen D2. 15 Modificación realizada sobre el archivo PCarcasa.a

PCarcasa.b (Original)



PCarcasa.b (Final)

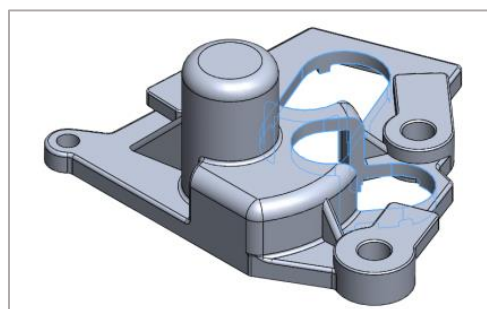
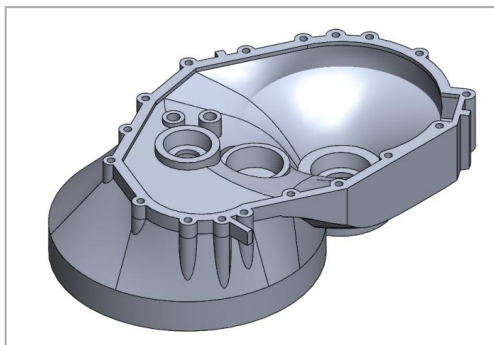
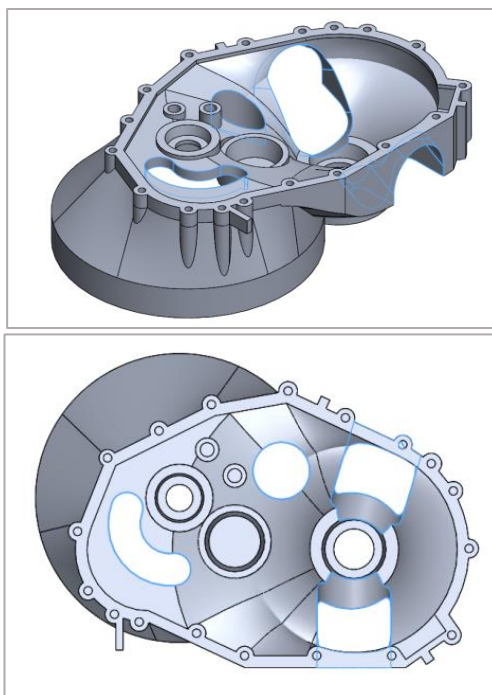
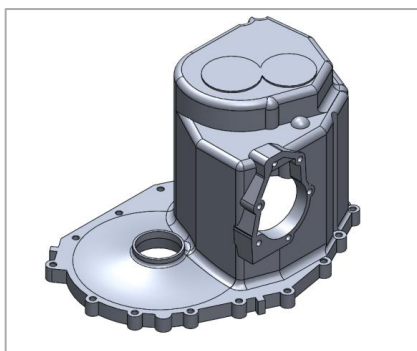
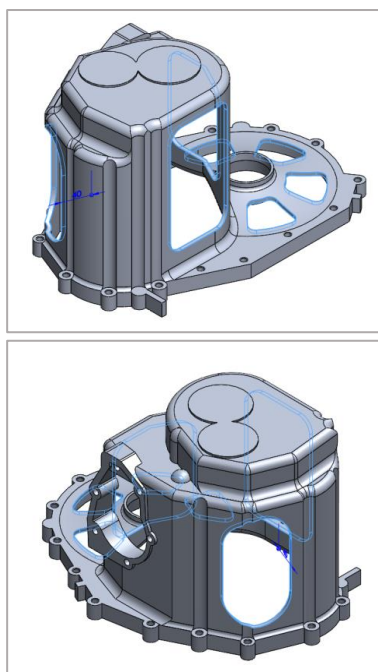


Imagen D2. 16 Modificación realizada sobre el archivo PCarcasa.b

carcasa1 (Original)**carcasa1 (Final)****Imagen D2. 17** Modificación realizada sobre el archivo carcasa1**carcasa2 (Original)****carcasa2 (Final)****Imagen D2. 18** Modificación realizada sobre el archivo carcasa2

- Modificación 5

Se han diseñado e impreso una serie de piezas auxiliares necesarias para realizar el ensamblaje.

En la **Tabla D2. 5** se detalla el conjunto de archivos realizados durante esta modificación, así como una descripción del motivo de la creación de cada uno de ellos.

Tabla D2. 5 Lista de archivos afectados por la modificación 5

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	DESCRIPCIÓN
Tornillos_P1_P3.b_A	Tornillos diseñados directamente al tamaño de la maqueta ($\frac{1}{2}$ del tamaño real) para los correspondientes agujeros de las piezas P1 y P3.b_A. En la Imagen D2. 19 se puede visualizar la pieza su croquis en milímetros y su ubicación en el ensamblaje.
carcasa2_B_tope	Pieza diseñada directamente al tamaño de la maqueta ($\frac{1}{2}$ del tamaño real) cuya función es la de mantener el engranaje auxiliar de la marcha atrás en su posición. Esta pieza sustituye al circlip que sostenía dicho engranaje originalmente. En la Imagen D2. 20 se puede visualizar la pieza, su croquis en milímetros y su ubicación en el ensamblaje.
Carcasa_union	Pieza diseñada al tamaño de la caja original cuya función es la de mantener las piezas carcasa1 y la carcasa2 alineadas para poder atornillarlas fácilmente durante su ensamblaje. En la Imagen D2. 21 se puede visualizar la pieza, su croquis en milímetros y su ubicación en el ensamblaje.

**Tornillos_
P1_P3.b_A**

Croquis

Ubicación

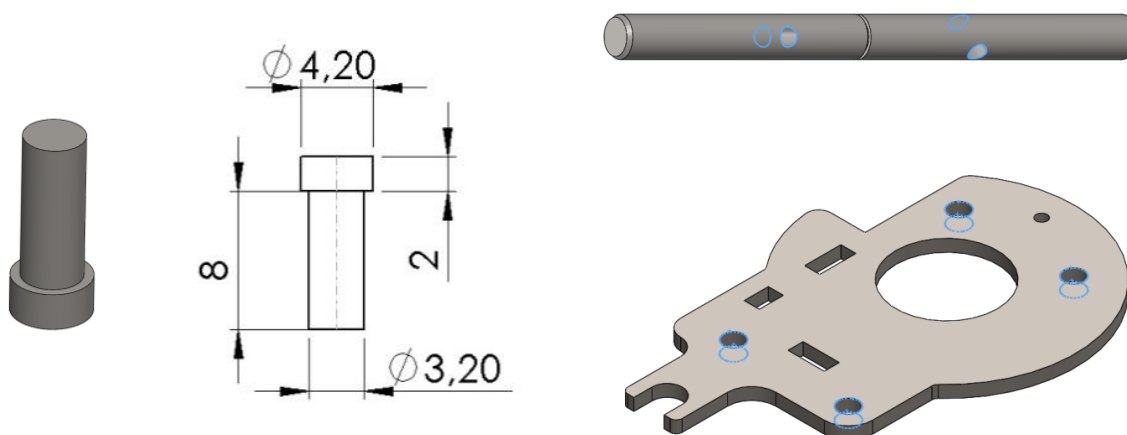


Imagen D2. 19 Modificación realizada sobre el archivo Tornillos_P1_P3.b_A

carcasa2_B_tope

Croquis

Ubicación

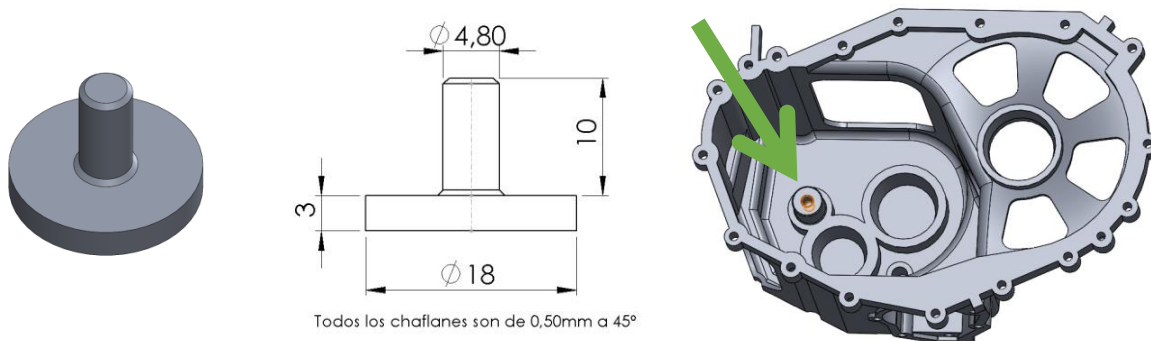


Imagen D2. 20 Modificación realizada sobre el archivo carcasa2_B_tope

Carcasa_union

Croquis

Ubicación

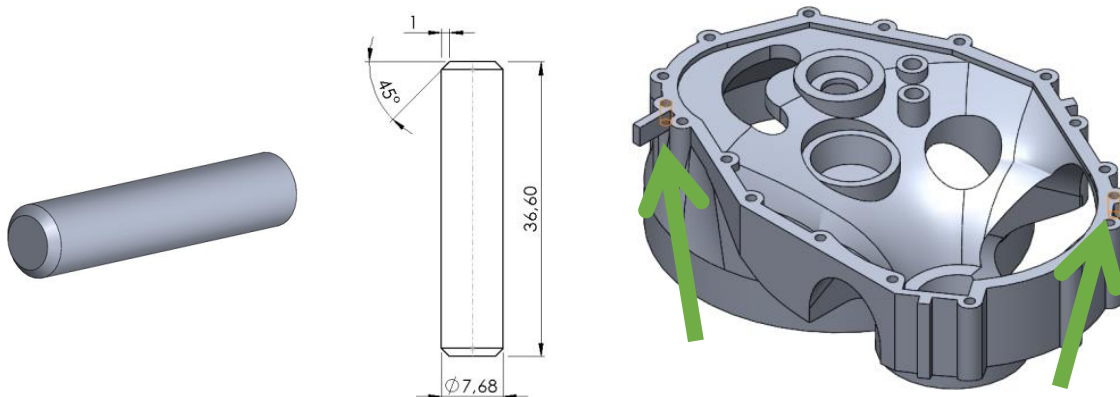


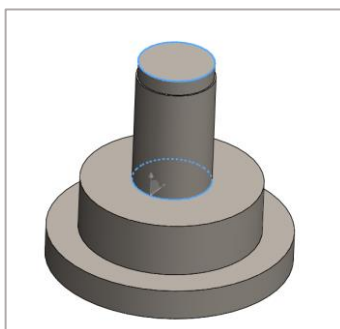
Imagen D2. 21 Modificación realizada sobre el archivo Carcasa_union

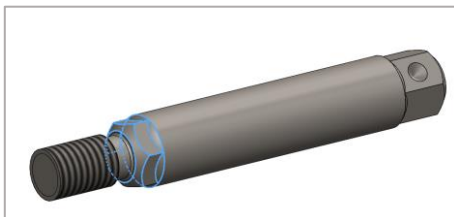
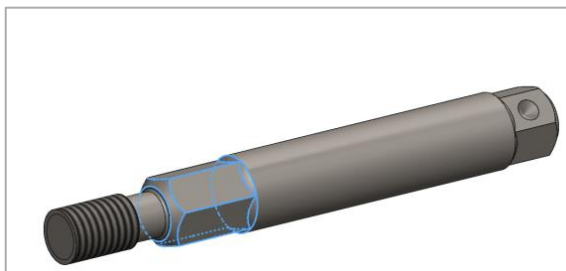
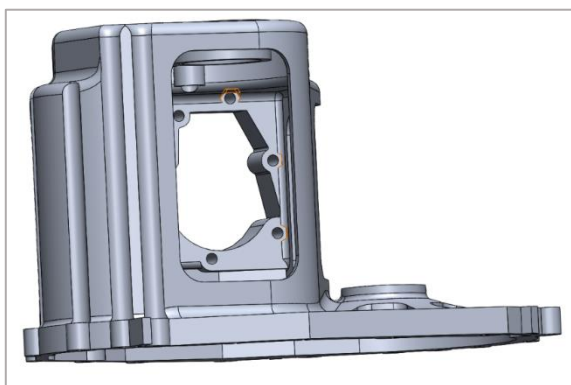
- Modificación 6

Otras modificaciones realizadas en algunas piezas para facilitar el ensamblaje entre componentes. En la Tabla D2. 6 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como una descripción del motivo de cada ajuste realizado.

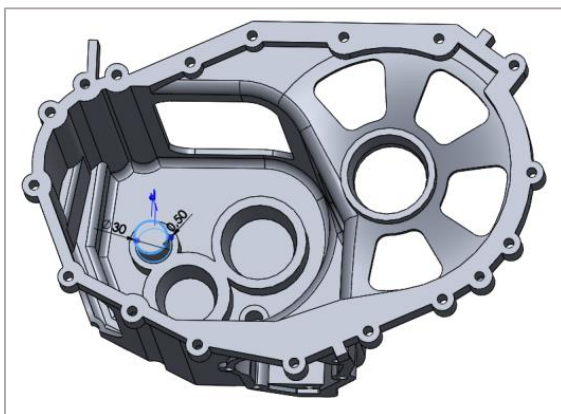
Tabla D2. 6 Lista de archivos afectadas por la modificación 4

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	DESCRIPCIÓN
P3.f	Se han reducido los diámetros seleccionados en la Imagen D2. 22 para facilitar el ensamblaje con las piezas P3.e y P3.d.
P3.e	Se ha modificado la posición y forma originales del saliente seleccionado en la Imagen D2. 23 para facilitar el ensamblaje con la pieza P3.d.
P4.b	Se ha alargado la longitud de la sección hexagonal de la pieza a 17,25mm para facilitar su ensamblaje con la pieza P4.a (Imagen D2. 24).
carcasa2	Se ha recortado en forma hexagonal las zonas marcadas en la Imagen D2. 25 para facilitar la colocación de tuercas M4.
carcasa2	Se ha aumentado el diámetro del eje de la marcha atrás a 30mm para suprimir la necesidad de un rodamiento de agujas entre dicho eje y el engranaje auxilia de la marcha atrás (Imagen D2. 26).
carcasa2	Se ha añadido un agujero achaflanado en el eje de la marcha atrás (Imagen D2. 27), en el que se colocará la pieza carcasa2_B_tope. El agujero es de 10mm de diámetro, 20mm de profundidad y con chaflanes de 1mm a 45°.

**Imagen D2. 22** Modificación realizada sobre el archivo P3.f**Imagen D2. 23** Modificación realizada sobre el archivo P3.e

P4.b (Original)**P4.b (Final)****Imagen D2. 24** Modificación realizada sobre el archivo P4.b**carcasa2****carcasa2 (Ampliación de la modificación)****Imagen D2. 25** Modificación realizada sobre el archivo carcasa2

carcasa2



carcasa2 (Ampliación de la modificación)

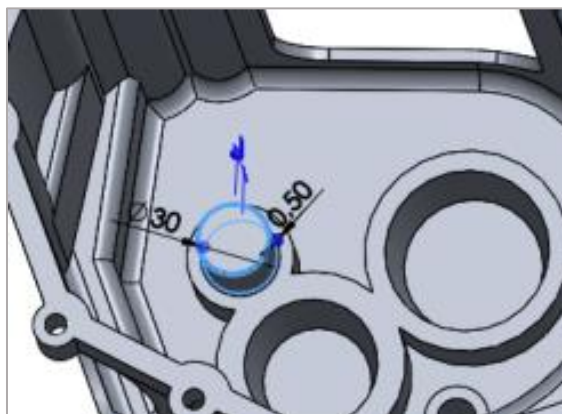
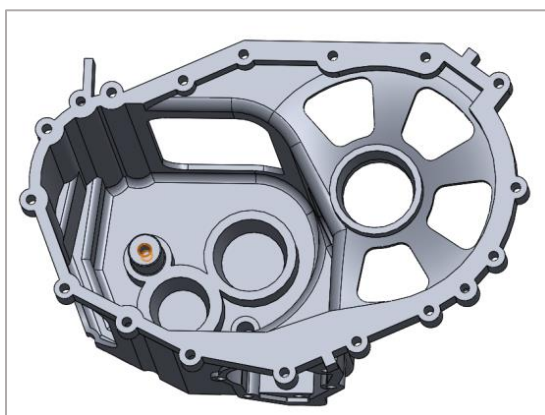


Imagen D2. 26 Modificación realizada sobre el archivo carcasa2

carcasa2



carcasa2 (Ampliación de la modificación)

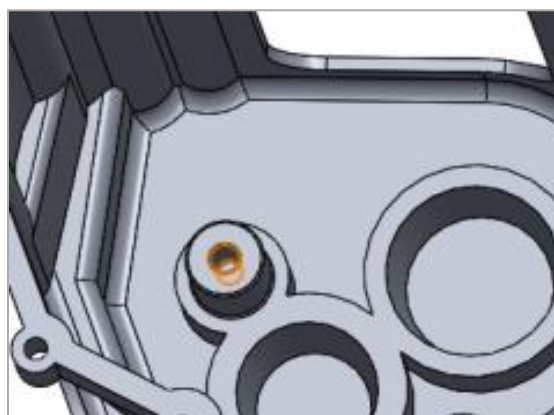


Imagen D2. 27 Modificación realizada sobre el archivo carcasa2

D3. Edición en Meshmixer

- Modificación 1

Se ha impreso como una única pieza varias piezas que, una vez ensambladas, suponían un único volumen. Esto se ha hecho así para facilitar su ensamblaje e impresión.

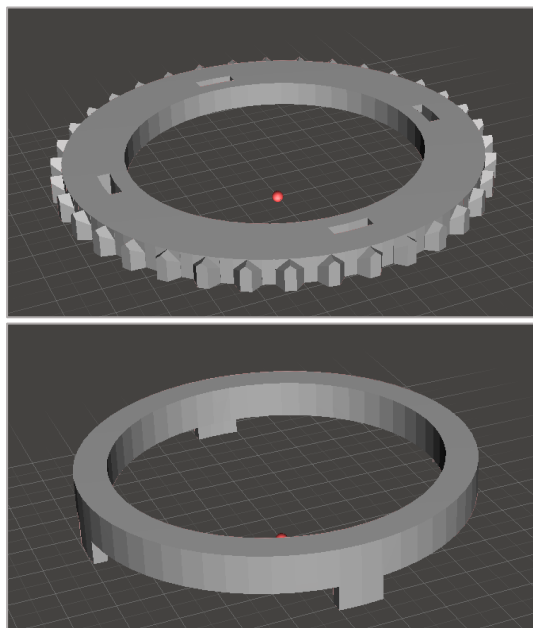
En la Tabla D3. 1 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, los archivos resultantes de cada unión y una descripción de cada uno de ellos.

Tabla D3. 1 Lista de archivos afectadas por la modificación 1

LISTA DE ARCHIVOS				
ARCHIVOS ORIGINALES			ARCHIVO RESULTANTE	DESCRIPCIÓN
CONO 1ª	ARO_2 1ª		CONO 1ª y ARO_2 1ª	Piezas originalmente soldadas (Imagen D3. 1)
CONO 2ª	ARO_2 2ª		CONO 2ª y ARO_2 2ª	Piezas originalmente soldadas (Imagen D3. 2)
CONO 3ª	ARO_2 3ª		CONO 3ª y ARO_2 3ª	Piezas originalmente soldadas (Imagen D3. 3)
Aguja (Rodamiento conico eje primario 1a)	Interior (Rodamiento conico eje primario 1a)	Jaula (Rodamiento conico eje primario 1a)	Rodamiento conico eje primario (1a)	Rodamiento impreso como una sola pieza fija ya que, debido a su tamaño, resulta imposible ensamblar sus componentes manualmente (Imagen D3. 4)
Aguja (Rodamiento conico eje primario MA)	Interior (Rodamiento conico eje primario MA)	Jaula (Rodamiento conico eje primario MA)	Rodamiento conico eje primario (MA)	Rodamiento impreso como una sola pieza solida ya que, debido a su tamaño, resulta imposible ensamblar sus componentes manualmente (Imagen D3. 5)
Aguja (Rodamiento conico eje secundario)	Interior (Rodamiento conico eje secundario)	Jaula (Rodamiento conico eje secundario)	Rodamiento conico eje secundario	Rodamiento impreso como una sola pieza solida ya que, debido a su tamaño, resulta imposible ensamblar sus componentes manualmente (Imagen D3. 6)
Aguja (Rodamiento conico corona)	Interior (Rodamiento conico corona)	Jaula (Rodamiento conico corona)	Rodamiento conico corona	Rodamiento impreso como una sola pieza solida ya que, debido a su tamaño, resulta imposible ensamblar sus componentes manualmente (Imagen D3. 7)

Comentar además que, dado que los rodamientos se han impreso como una única pieza sólida, estos no cumplen su propósito de facilitar el giro de los ejes. A raíz de esto se ha permitido el juego entre los rodamientos y su eje interior para simular su función tal y como se especifica en la Modificación 1 realizada en SolidWorks del Anexo D2 (Tabla D2. 1) e Imagen D2. 3.

CONO 1ª y ARO_2 1ª (Originales)



Resultante

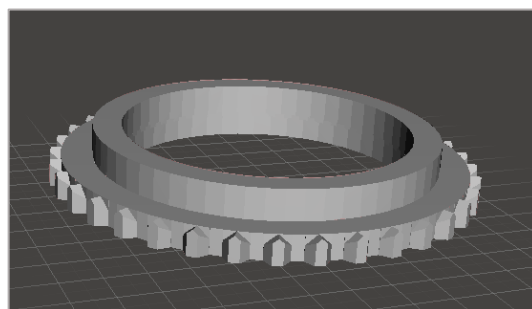
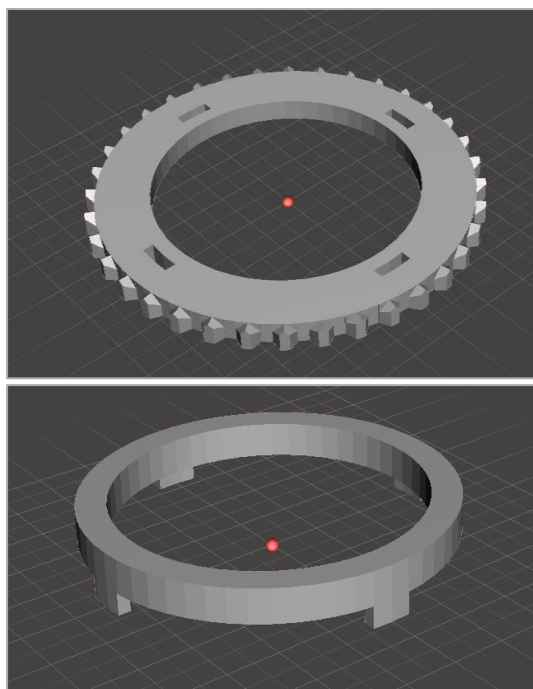


Imagen D3. 1 Modificación realizada sobre los archivos CONO 1ª y ARO_2 1ª

CONO 2ª y ARO_2 2ª (Originales)



Resultante

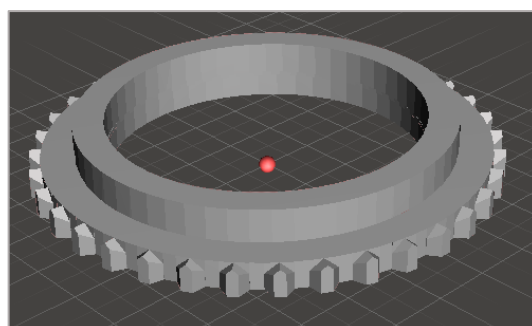
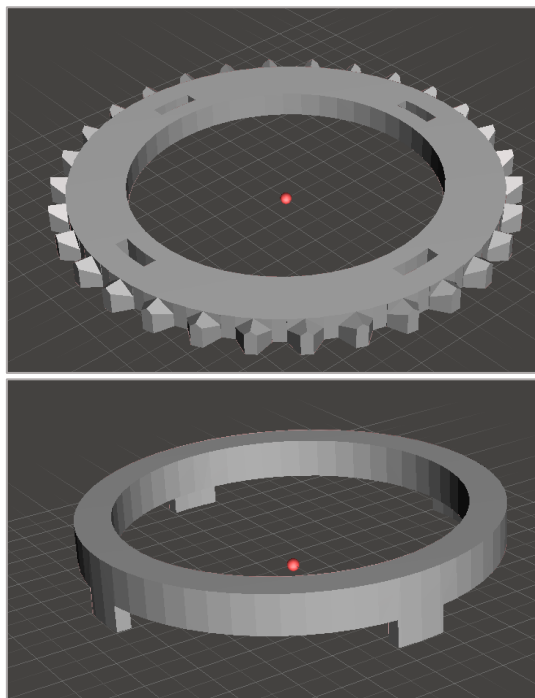
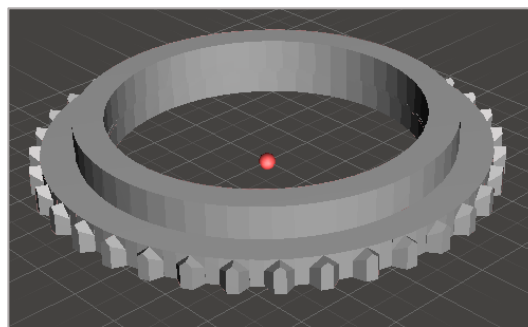
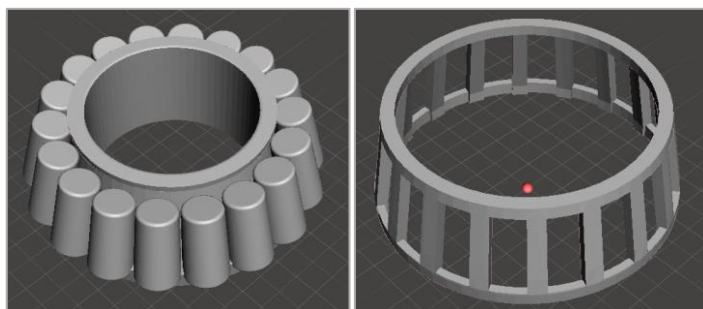
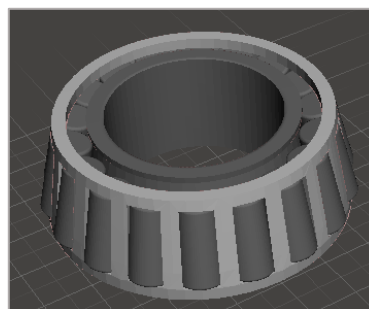


Imagen D3. 2 Modificación realizada sobre los archivos CONO 2ª y ARO_2 2ª

CONO 3ª y ARO_2 3ª (Originales)**Resultante****Imagen D3. 3** Modificación realizada sobre los archivos CONO 3ª y ARO_2 3ª**Rodamiento conico eje primario (1a) (Originales)****Resultante****Imagen D3. 4** Modificación realizada sobre el archivo Rodamiento conico eje primario (1a)

Rodamiento conico eje primario (MA) (Originales)

Resultante

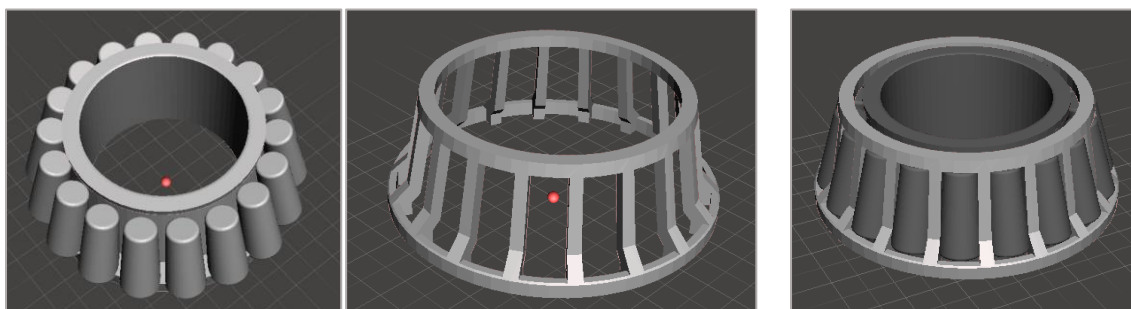


Imagen D3. 5 Modificación realizada sobre el archivo Rodamiento conico eje primario (MA)

Rodamiento conico eje secundario (Originales)

Resultante

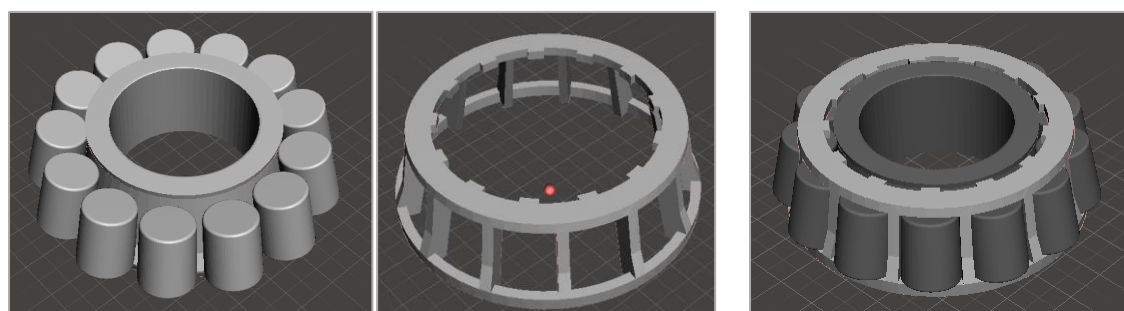


Imagen D3. 6 Modificación realizada sobre el archivo Rodamiento conico eje secundario

Rodamiento conico corona (Originales)

Resultante

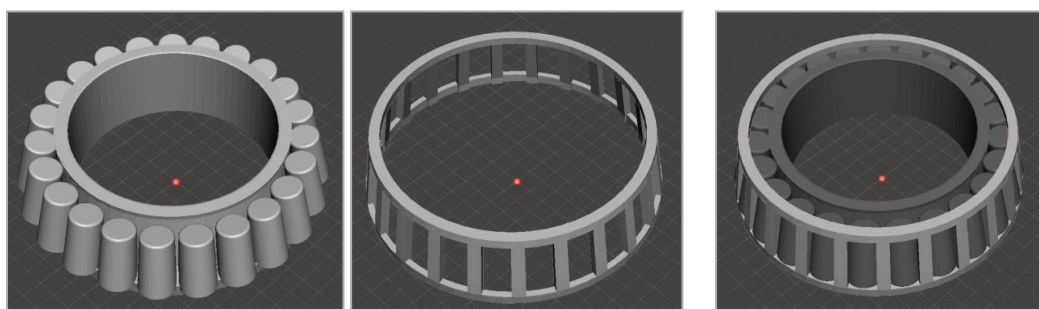


Imagen D3. 7 Modificación realizada sobre el archivo Rodamiento conico corona

- Modificación 2

Ha sido necesaria la división de algunas piezas en partes con el objetivo de facilitar su colocación sobre la cama de impresión.

Se han creado además, pequeñas piezas de unión entre dichas partes para mantenerlas juntas una vez pegadas. Estas pequeñas uniones se han colocado en lugares sólidos de las dos mitades originales que han sido vaciados, pero sin comprometer la estructura de la pieza.

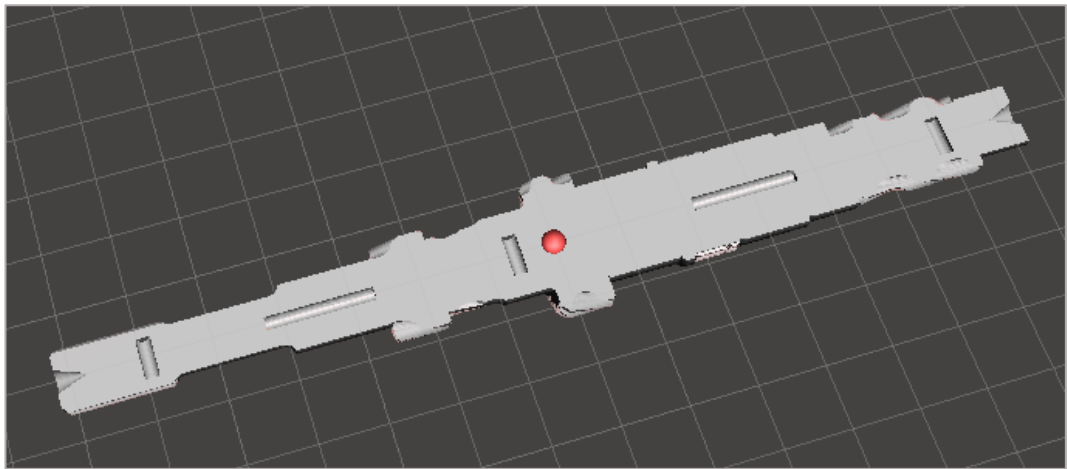
En la Tabla D3. 2 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como los archivos que contienen las piezas de unión creadas en cada caso y su correlación con las imágenes correspondientes.

Tabla D3. 2 Lista de archivos afectadas por la modificación 2

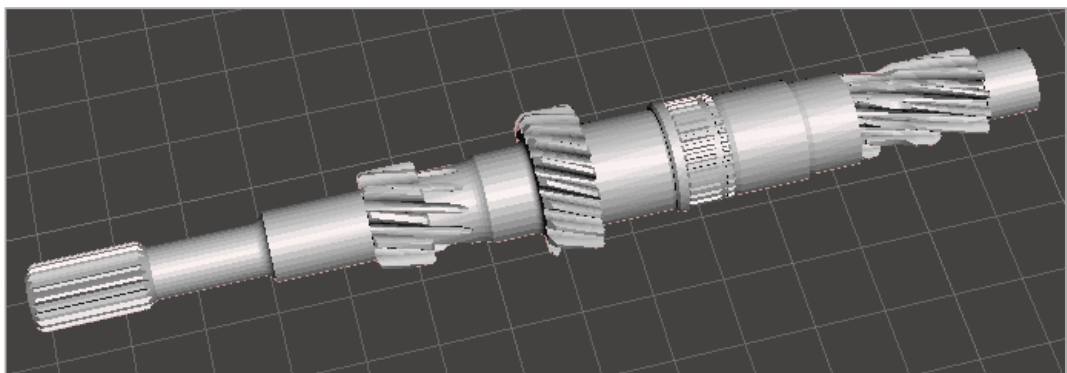
LISTA DE ARCHIVOS				
ARCHIVO ORIGINAL	ARCHIVOS RESULTANTES		ARCHIVO CON LAS UNIONES	IMAGEN CORRESPONDIENTE
EJE PRIMARIO	EJE PRIMARIO_A	EJE PRIMARIO_B	EJE PRIMARIO Y SECUNDARIO_uniones	Imagen D3. 8
EJE SECUNDARIO	EJE SECUNDARIO_A	EJE SECUNDARIO_B	EJE PRIMARIO Y SECUNDARIO_uniones	Imagen D3. 9
P9.a	P9.a_A	P9.a_B	P9.a_uniones	Imagen D3. 10
caja diferencial_A	caja diferencial_A1	caja diferencial_A2	caja diferencial_A_uniones	Imagen D3. 11
carcasa2	carcasa2_A	carcasa2_B	carcasa2_A	Imagen D3. 12

Comentar también que, en el caso de la carcasa2 las uniones se han impreso en una de las dos mitades resultantes y no como archivo a parte ya que no entorpecían la impresión de esta.

Mitad A



Mitad B



Uniones

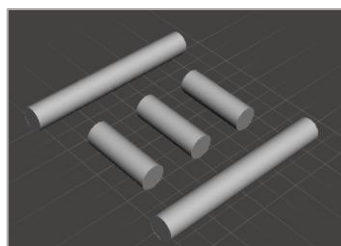
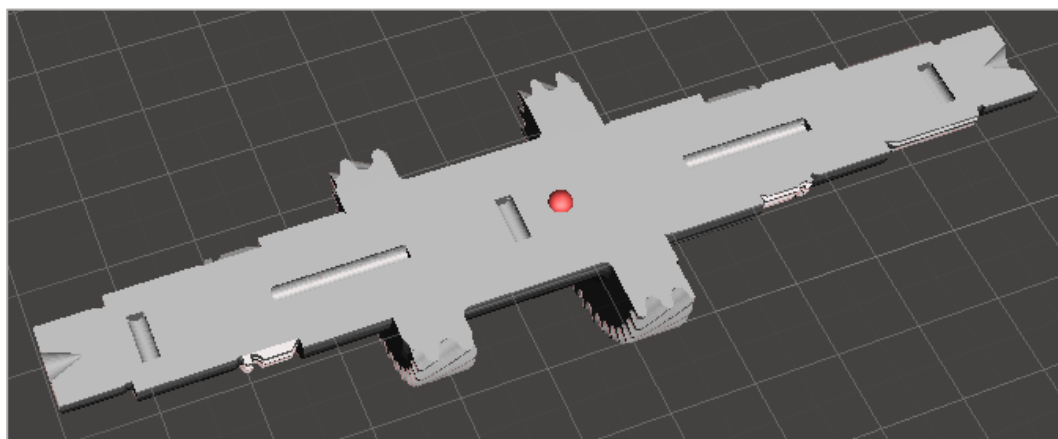
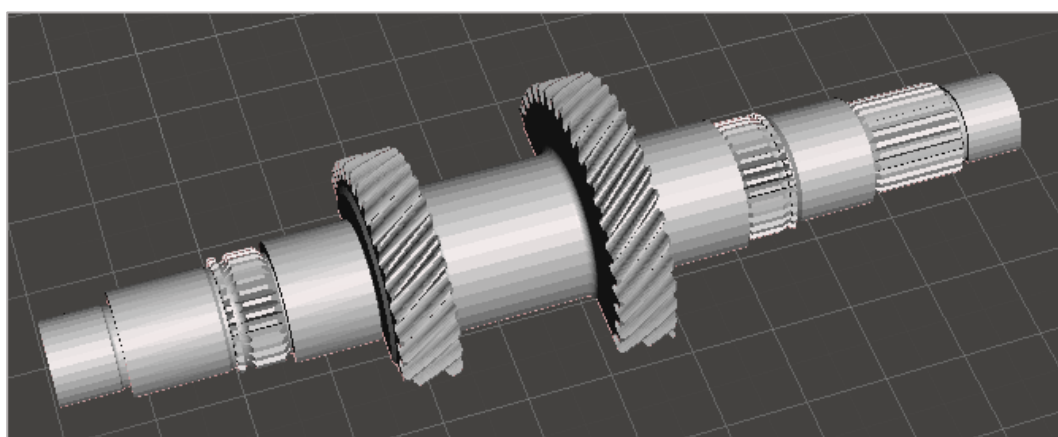


Imagen D3. 8 Modificación realizada sobre el archivo EJE PRIMARIO

Mitad A



Mitad B



Uniones

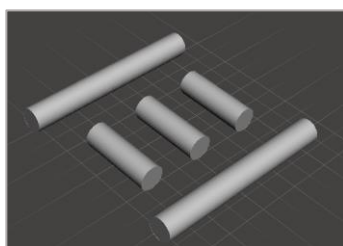


Imagen D3. 9 Modificación realizada sobre el archivo EJE SECUNDARIO

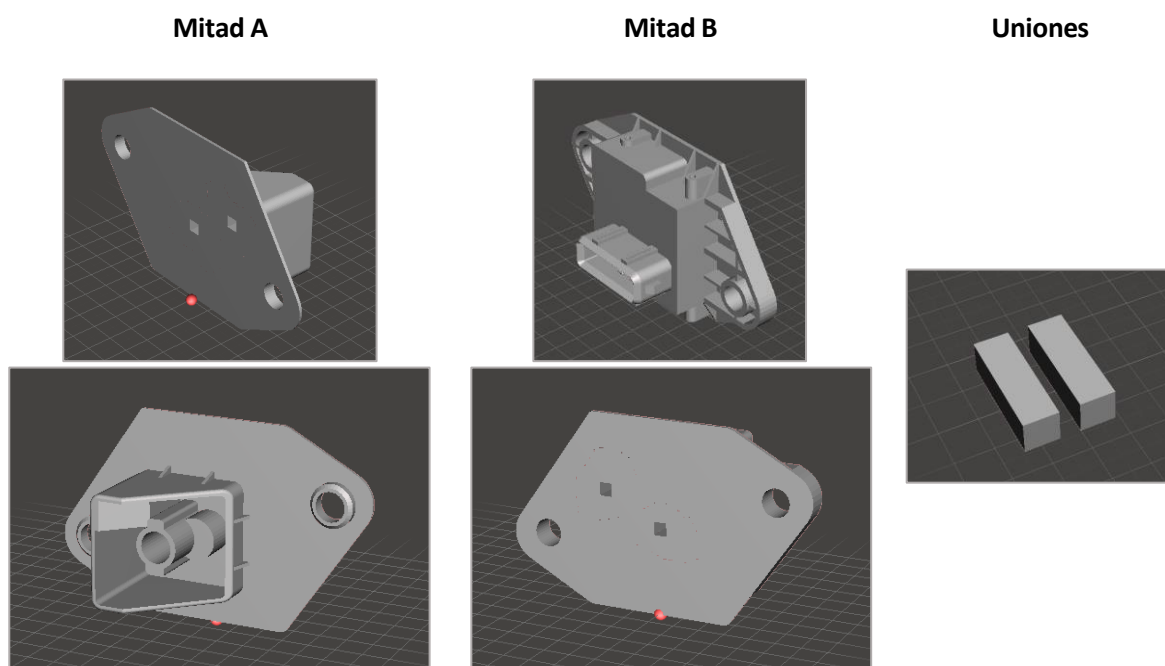


Imagen D3. 10 Modificación realizada sobre el archivo P9.a

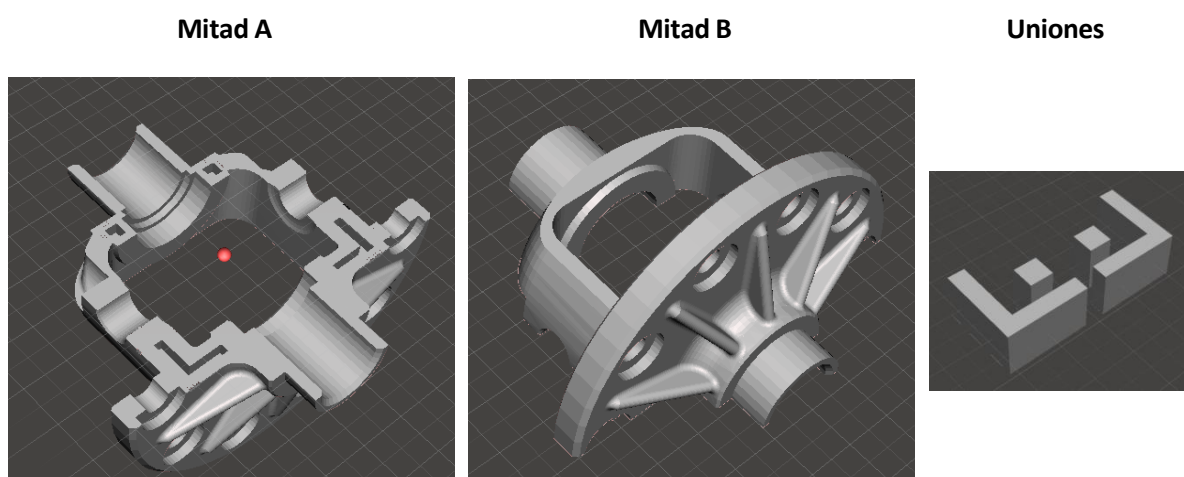
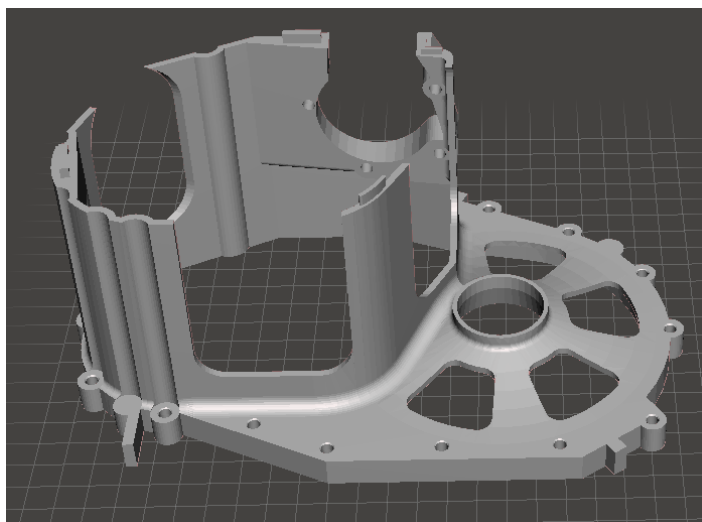
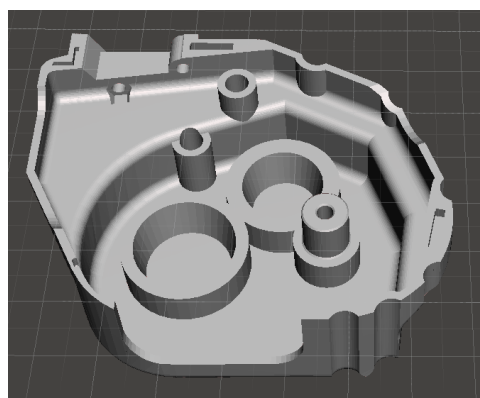


Imagen D3. 11 Modificación realizada sobre el archivo caja diferencial_A

Mitad A



Mitad B



Uniones

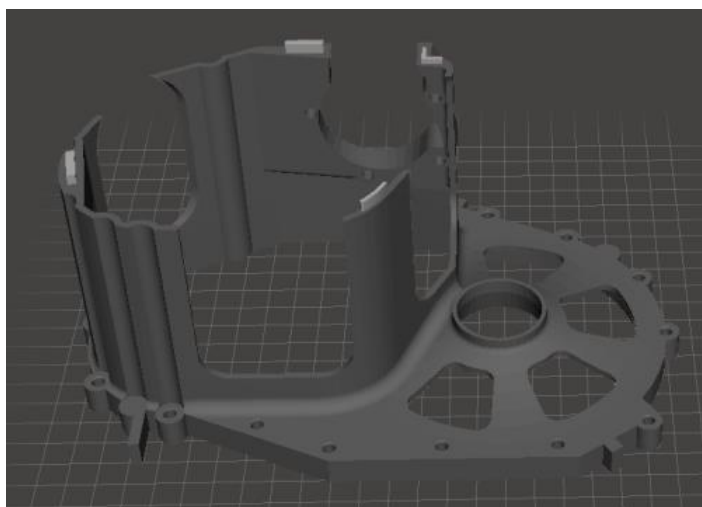


Imagen D3. 12 Modificación realizada sobre el archivo carcasa2

- Modificación 3

Se han añadido soportes de PVA en lugares específicos de piezas. De esta forma, se complementan las opciones de soportes del software Cura BCN3D y se asegura una colocación de estructuras de soporte en todas las zonas deseadas para una correcta impresión.

En la Tabla D3. 3 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como una descripción de su motivo en cada caso.

Tabla D3. 3 Lista de archivos afectadas por la modificación 3

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	DESCRIPCIÓN
ARO_1 1ª y 2ª	Se ha creado una pieza específica (ARO_1 1ª y 2ª_support) a imprimir en PVA para asegurar la colocación de soportes en todas las zonas deseadas (Imagen D3. 13).
ARO_1 3ª	Se ha creado una pieza específica (ARO_1 3ª support) a imprimir en PVA para asegurar la colocación de soportes en todas las zonas deseadas (Imagen D3. 14).

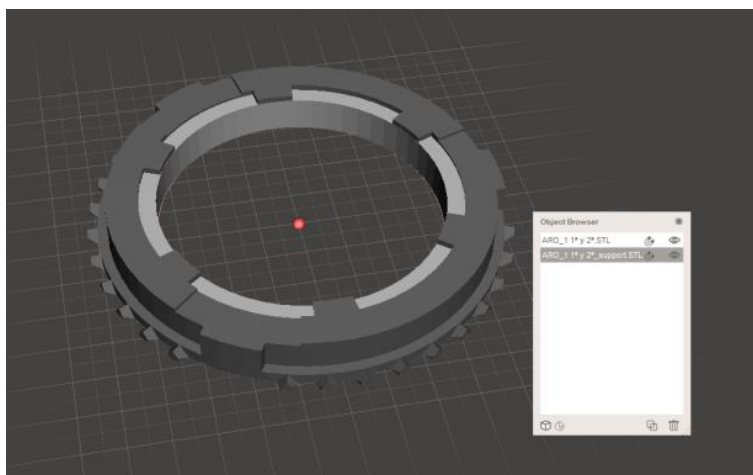


Imagen D3. 13 Modificación realizada sobre el archivo ARO_1 1ª y 2ª

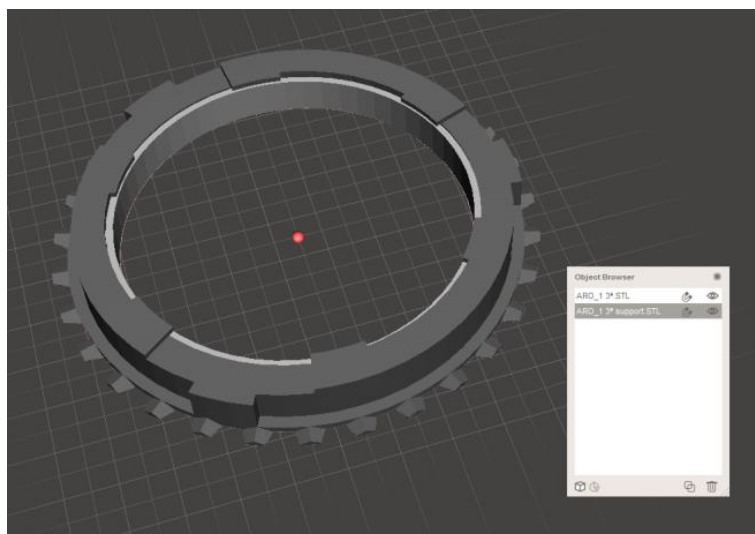


Imagen D3. 14 Modificación realizada sobre el archivo ARO_1 3ª

- **Modificación 4**

Se han añadido soportes solidos a imprimir en PLA en lugares específicos de piezas, además de los soportes de PVA. El objetivo de esto es impedir que, varias zonas que comienzan a generarse aisladas del resto de la pieza y separadas de la cama de impresión, se muevan y se descentren debido a la poca adherencia del PLA sobre los soportes de PVA.

Estos soportes solidos sirven de guía para mantener estas zonas centradas en su posición hasta la capa en la que se conecten con el resto de la pieza.

En la **Tabla D3. 4** se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como su correlación con las imágenes correspondientes.

Tabla D3. 4 Lista de archivos afectadas por la modificación 4

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	IMÁGENES CORRESPONDIENTES
horquilla 1a-2a	Imagen D3. 15 e Imagen D3. 16
horquilla 3a-4a.a	Imagen D3. 17 e Imagen D3. 18
horquilla 5a-MA	Imagen D3. 19 e Imagen D3. 20
P4.c	Imagen D3. 21 e Imagen D3. 22
P5.a_A	Imagen D3. 23 e Imagen D3. 24
P5.b	Imagen D3. 25 e Imagen D3. 26
PCarcasa.a	Imagen D3. 27 e Imagen D3. 28
carcasa2_B	Imagen D3. 29 e Imagen D3. 30

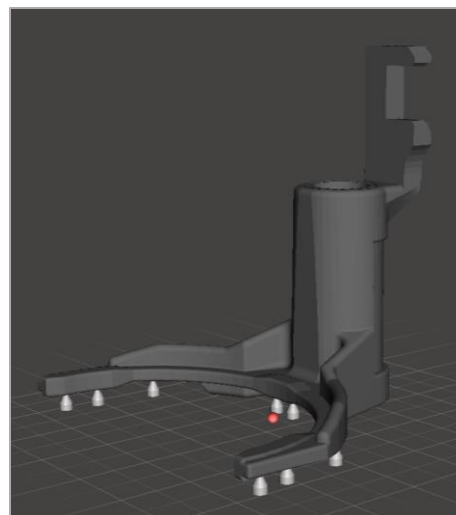
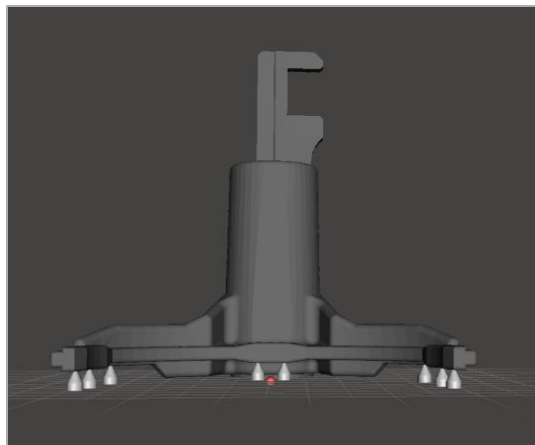


Imagen D3. 15 Modificación realizada sobre el archivo horquilla 1a-2a

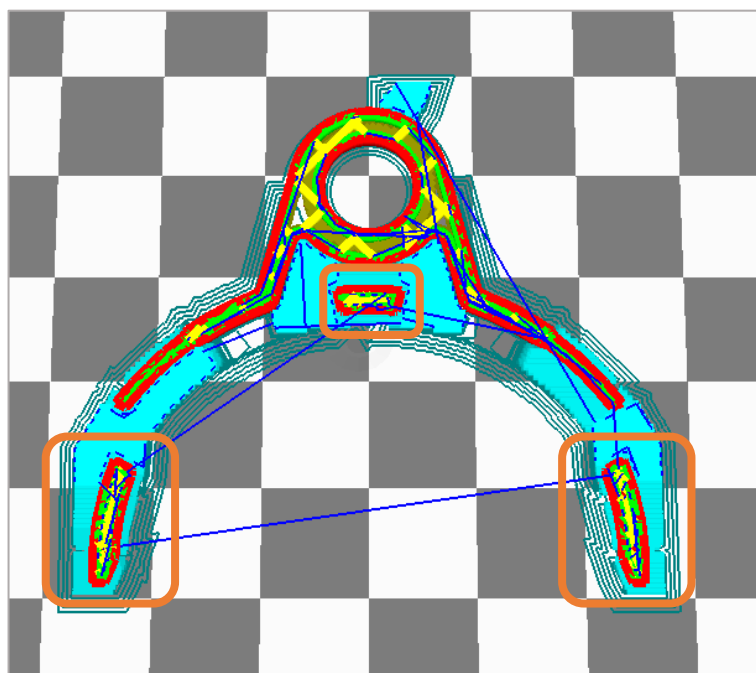


Imagen D3. 16 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

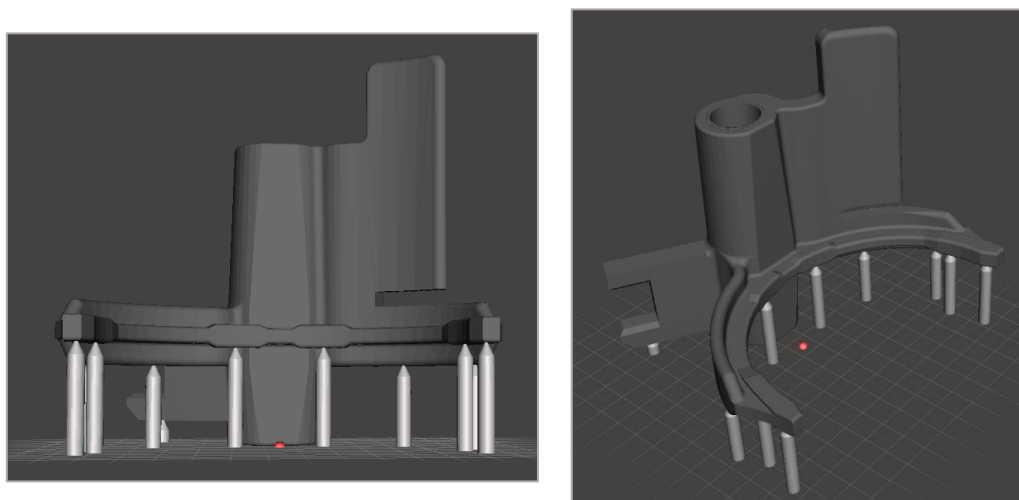


Imagen D3. 17 Modificación realizada sobre el archivo horquilla 3a-4a.a

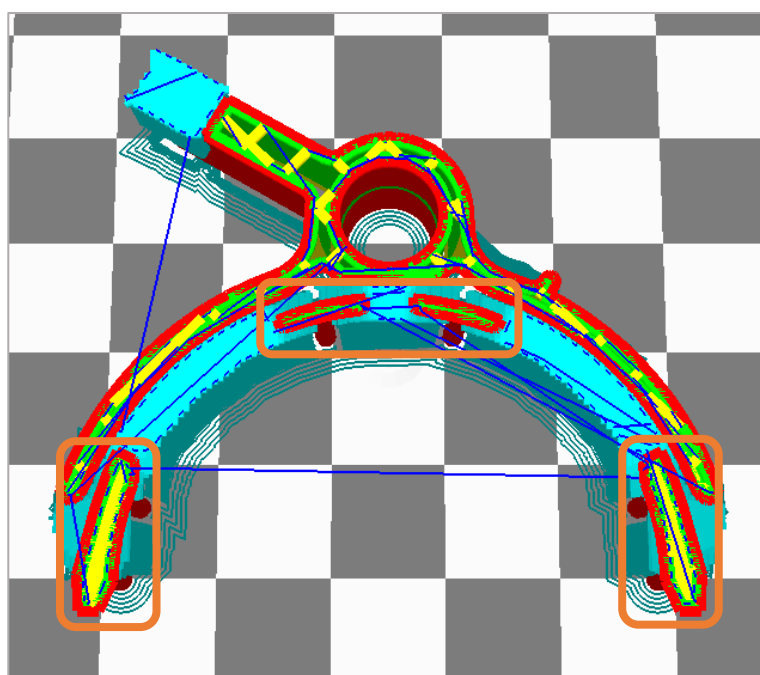


Imagen D3. 18 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

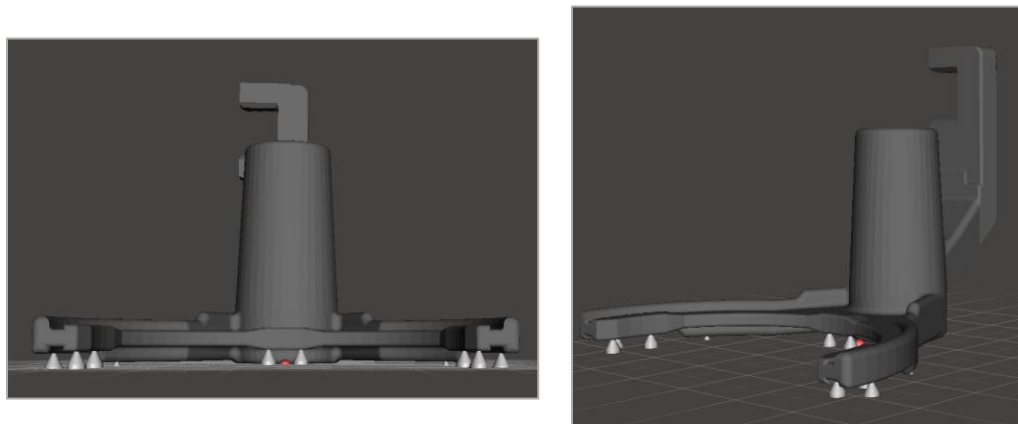


Imagen D3. 19 Modificación realizada sobre el archivo horquilla 5a-MA

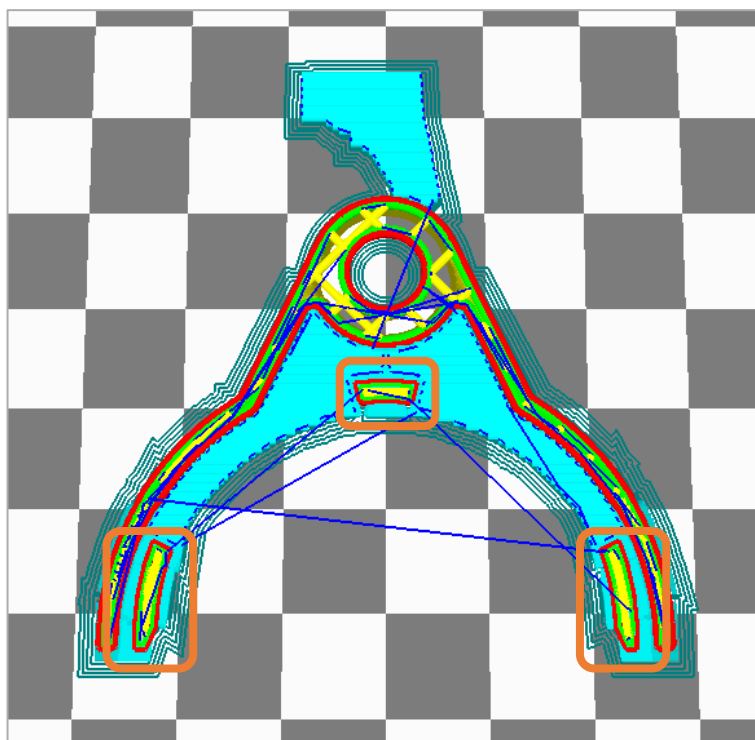


Imagen D3. 20 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

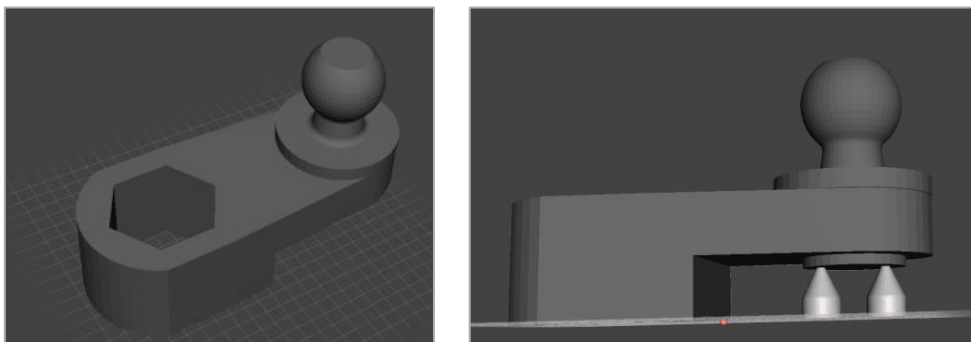


Imagen D3. 21 Modificación realizada sobre el archivo P4.c

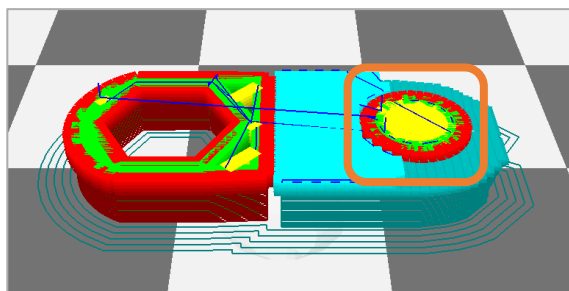


Imagen D3. 22 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

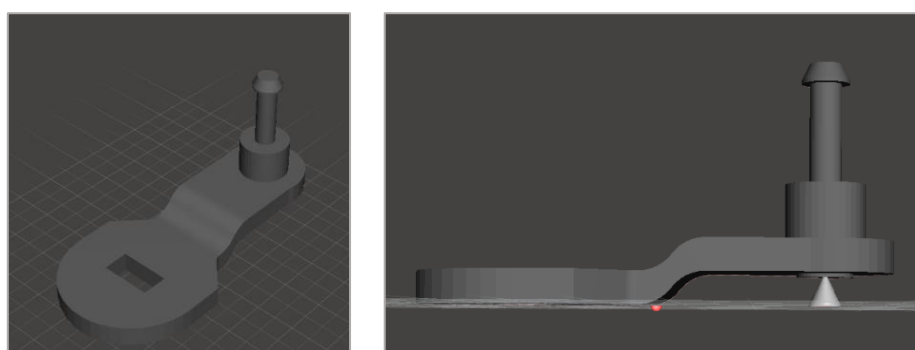


Imagen D3. 23 Modificación realizada sobre el archivo P5.a_A

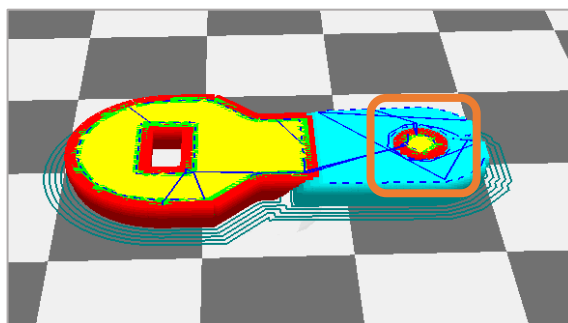


Imagen D3. 24 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

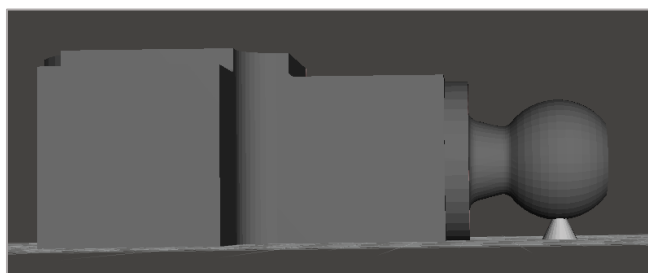
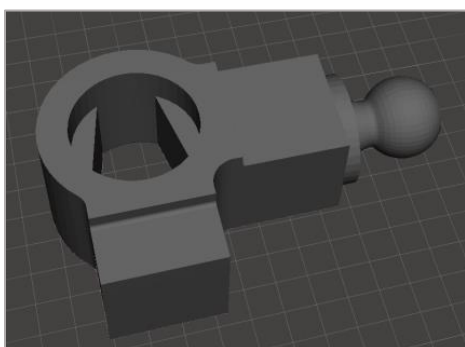


Imagen D3. 25 Modificación realizada sobre el archivo P5.b

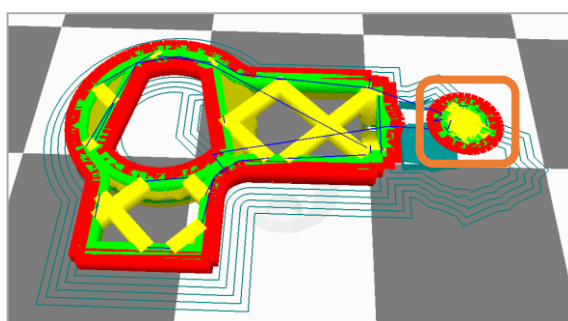


Imagen D3. 26 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

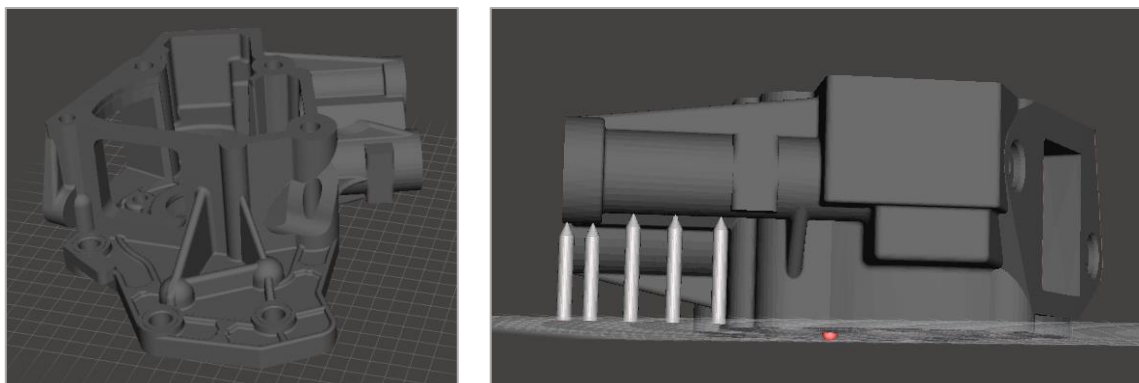


Imagen D3. 27 Modificación realizada sobre el archivo PCarcasa.a

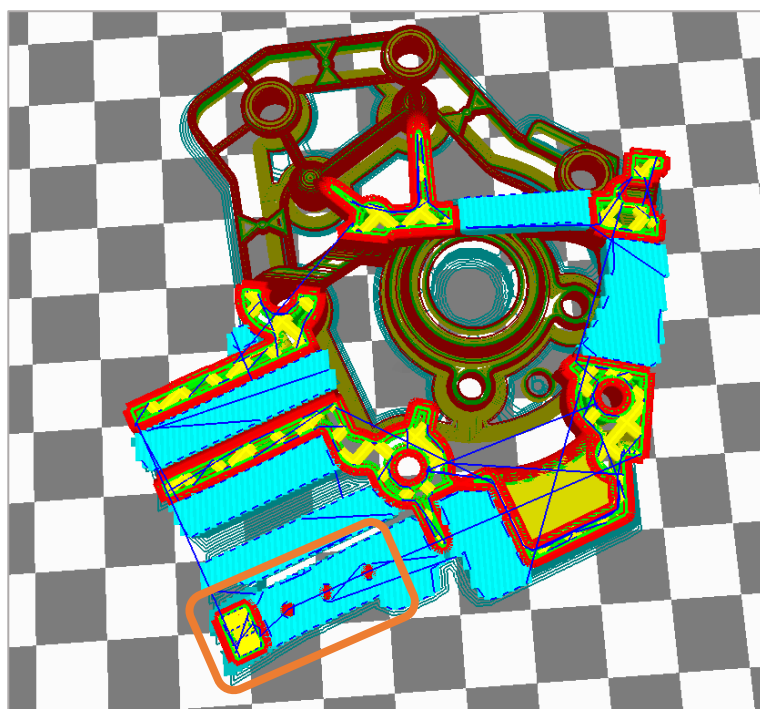


Imagen D3. 28 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

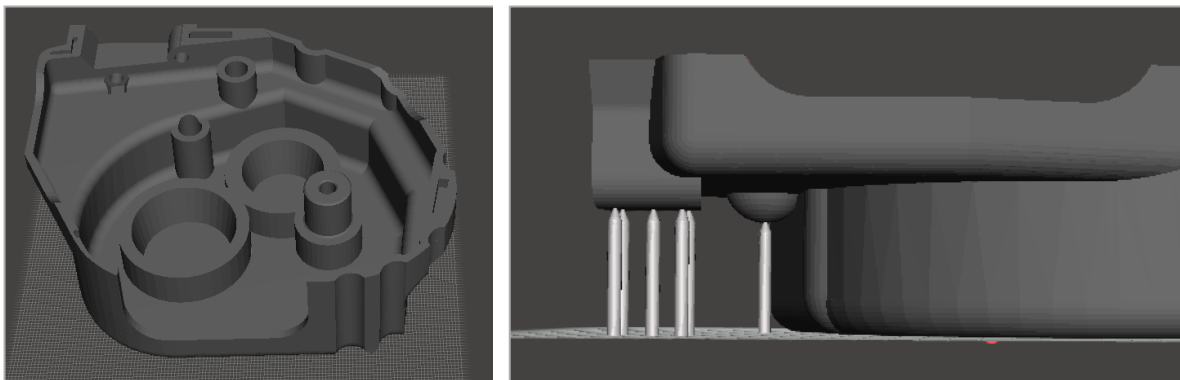


Imagen D3. 29 Modificación realizada sobre el archivo carcasa2_B



Imagen D3. 30 Capa de impresión en las que se visualizan las zonas aisladas del resto de la pieza (programa Cura BCN3D)

- Modificación 5

Se han ajustado las dimensiones de algunas piezas para facilitar el ensamblaje y permitir el juego entre ellas. Este ajuste ha sido necesario como consecuencia de la pequeña dilatación que sufren las piezas impresas en 3D especificada en la **Tabla 5. 4**.

En la Tabla D3. 5 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como una descripción de su motivo en cada caso.

Tabla D3. 5 Lista de archivos afectados por la modificación 5

LISTA DE ARCHIVOS	
ARCHIVO ORIGINAL	DESCRIPCIÓN
desplazable 3a-4ª	Se ha reducido el diámetro de la pieza en 0,75 mm modificando la escala en el plano horizontal X – Z de Meshmixer. El objetivo ha sido reducir el excesivo juego que se producía entre buje y desplazable (Imagen D3. 31Imagen D3. 13).
desplazable 5a-MA	Se ha aumentado el diámetro de la pieza en 0,25 mm modificando la escala en el plano horizontal X – Z de Meshmixer. El objetivo ha sido aumentar el poco juego que se producía entre buje y desplazable (Imagen D3. 32Imagen D3. 13).
EJE PRIMARIO	Se ha reducido 0,8 mm la escala en el eje vertical Y de Meshmixer. Esto se debe a que, dado el tamaño en este eje de la pieza, la dilatación que sufre en vertical al imprimirse es suficiente como para deformar su sección. La cual pasa de ser circular a ovalada. Gracias a esta reducción de 0,8 mm (valor encontrado a partir de prueba y error) se corrige esta dilatación y como consecuencia la pieza resultante obtiene la sección circular deseada (Imagen D3. 33).
EJE SECUNDARIO	Se ha reducido 0,8 mm la escala en el eje vertical Y de Meshmixer. Esto se debe a que, dado el tamaño en este eje de la pieza, la dilatación que sufre en vertical al imprimirse es suficiente como para deformar su sección. La cual pasa de ser circular a ovalada. Gracias a esta reducción de 0,8 mm (valor encontrado a partir de prueba y error) se corrige esta dilatación y como consecuencia la pieza resultante obtiene la sección circular deseada (Imagen D3. 34).
PLANETARIO	Pieza resalada al 48% (no al 50%) del tamaño original para facilitar su engrane en la caja diferencial (Imagen D3. 35).
SATELITE	Pieza resalada al 48% (no al 50%) del tamaño original para facilitar su engrane en la caja diferencial (Imagen D3. 36).

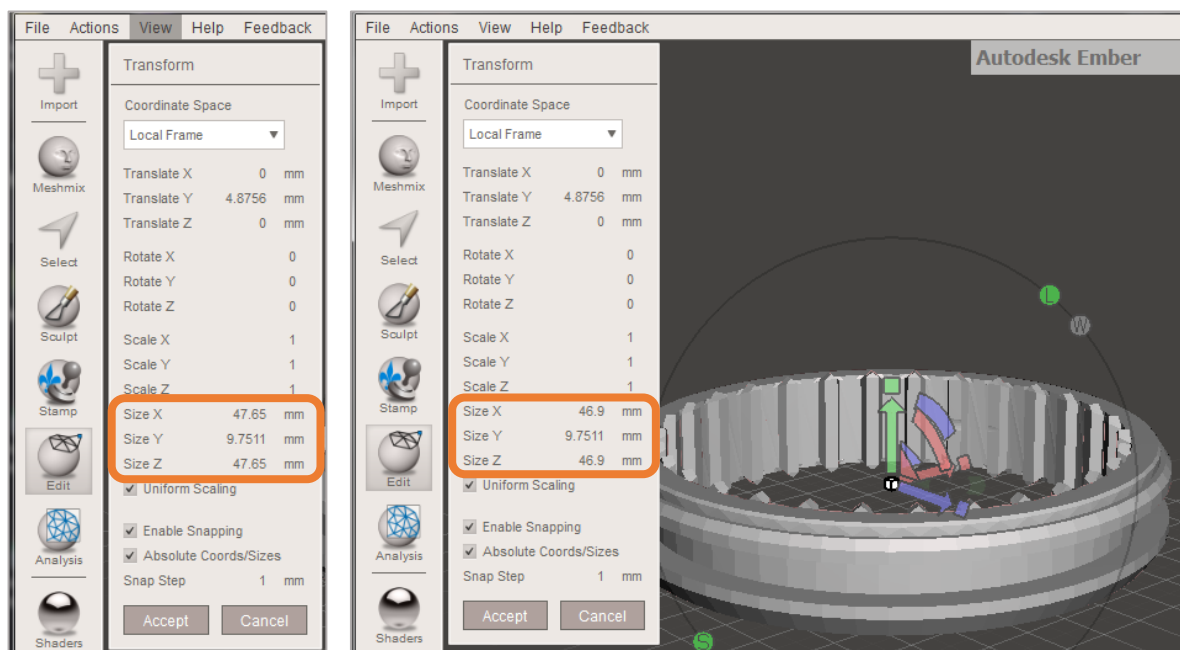


Imagen D3. 31 Modificación realizada sobre el archivo desplazable 3a-4ª

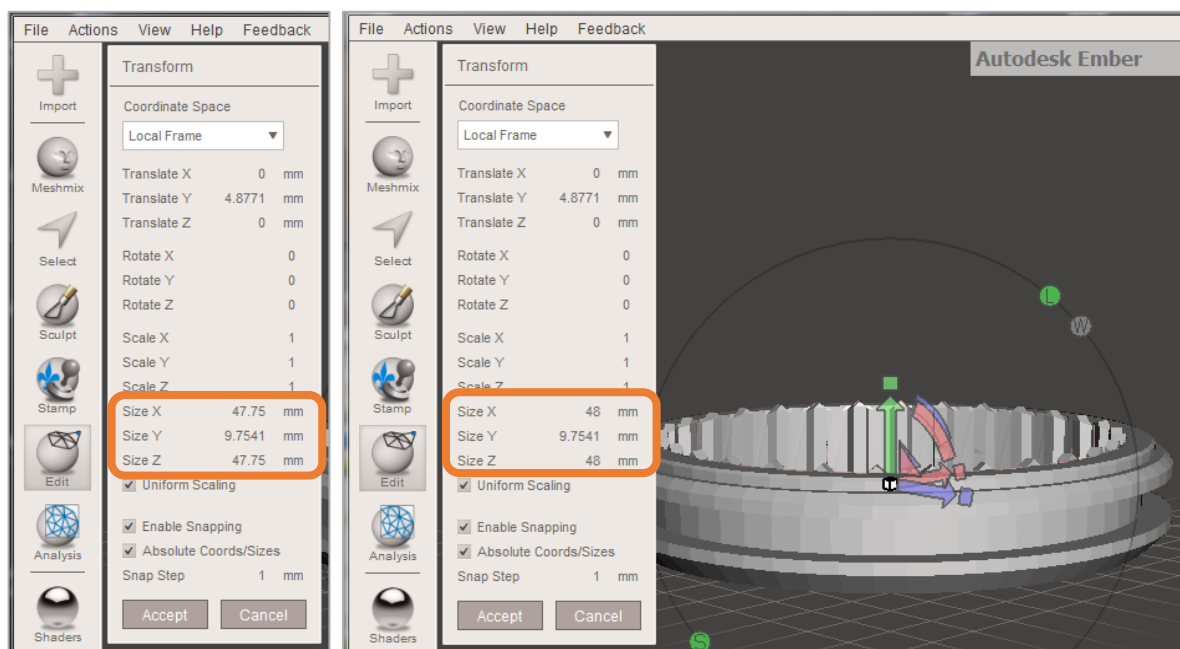


Imagen D3. 32 Modificación realizada sobre el archivo desplazable 5a-MA

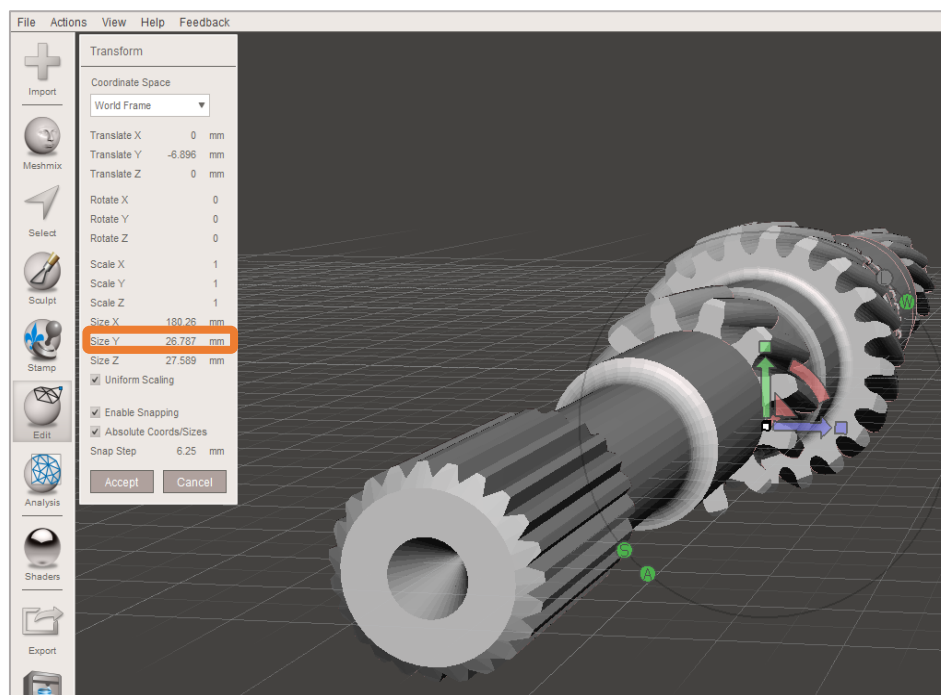


Imagen D3. 33 Modificación realizada sobre el archivo EJE PRIMARIO

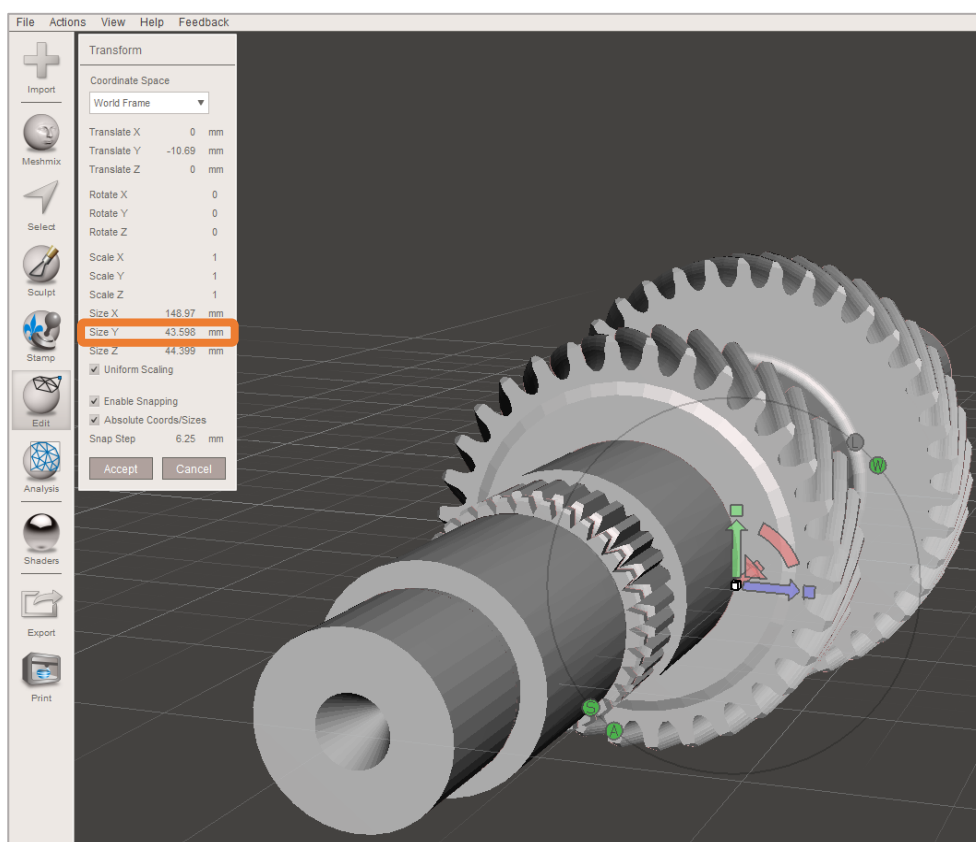


Imagen D3. 34 Modificación realizada sobre el archivo EJE SECUNDARIO

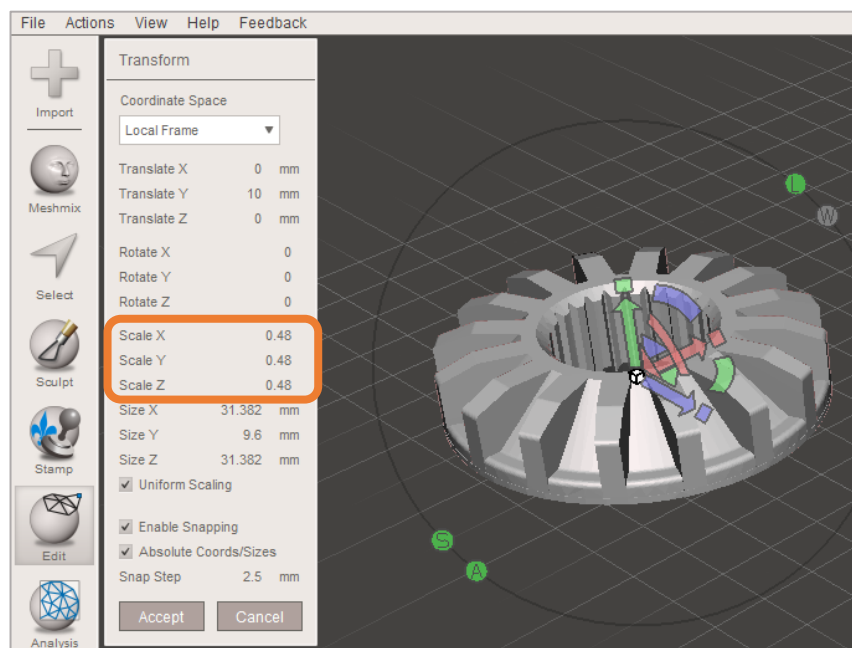


Imagen D3. 35 Modificación realizada sobre el archivo PLANETARIO

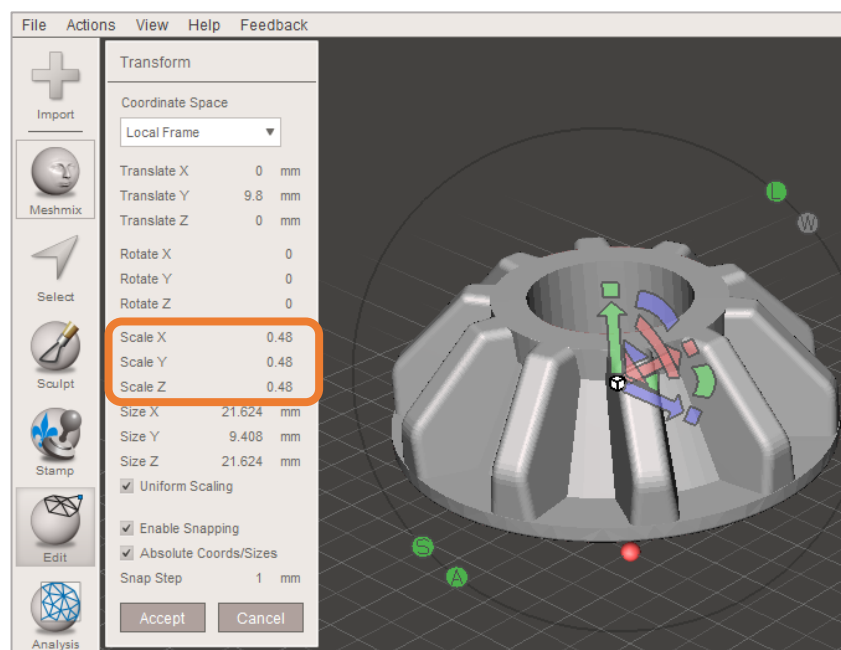


Imagen D3. 36 Modificación realizada sobre el archivo SATELITE

- Modificación 6

Se han colocado en horizontal todas las piezas esbeltas para imprimirlas en plano sobre la cama de impresión ya que, debido a su forma, su impresión en vertical hubiese causado demasiadas secciones críticas en dichas piezas.

Esto hubiese causado la fácil rotura de estas piezas al hacer coincidir los concentradores de tensiones propios del contorno de estas, con la sección crítica generada al imprimirse en 3D (la unión entre capas impresas en vertical).

Asimismo, se ha generado un archivo con una estructura de soporte en negativo de estas piezas (a imprimir en PVA) para asegurar la correcta impresión de estas en el plano horizontal y conseguir un acabado más uniforme. En estos archivos se ha respetado el nombre del archivo original añadiendo “_support” al final.

En la Tabla D3. 6 se detalla el conjunto de archivos a los que se les ha aplicado esta modificación, así como los archivos que contienen las piezas de soporte auxiliar creadas en cada caso y su correlación con las imágenes correspondientes.

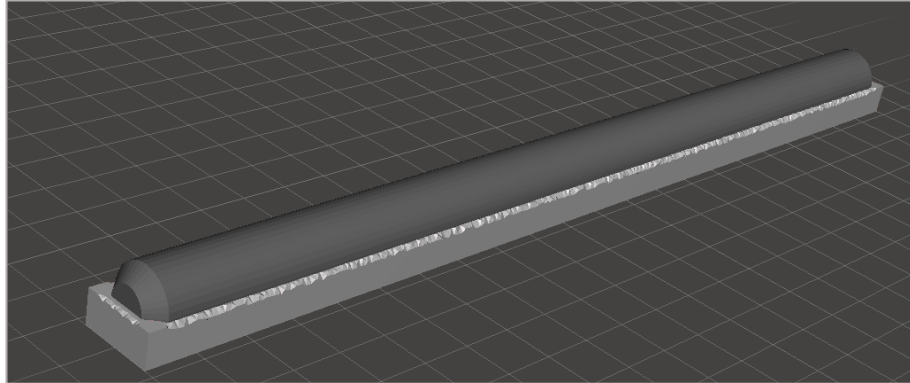
Tabla D3. 6 Lista de archivos afectadas por la modificación 6

LISTA DE ARCHIVOS		
ARCHIVO ORIGINAL	ARCHIVO DE LA PIEZA DE SOPORTE AUXILIAR	IMAGEN CORRESPONDIENTE
barra corta	barra corta_support	Imagen D3. 37
barra larga	barra larga_support	Imagen D3. 38
P1	P1_support	Imagen D3. 39
P4.b	P4.b_support	Imagen D3. 40
P5.a_B	P5.a_B_support	Imagen D3. 41
P7.a_B	P7.a_B_supports	Imagen D3. 42
PASADOR	PASADOR_support	Imagen D3. 43
Carcasa_union	Carcasa_union_support	Imagen D3. 44

Comentar que en estas piezas no se ha considerado una reducción en el eje vertical ya que, al no ser demasiado altas, su dilatación en esta dirección es insignificante (véase Tabla 5. 4). Con lo cual no pierden su sección circular.

Añadir además que, la estructura de soporte en negativo creada para estas piezas cubre su la mitad inferior (zonas con ángulos negativos, véase Imagen 5. 1) y sobrepasa entre 2 y 5 mm la pieza por los lados en el plano horizontal.

barra corta



Estructura de soporte en negativo

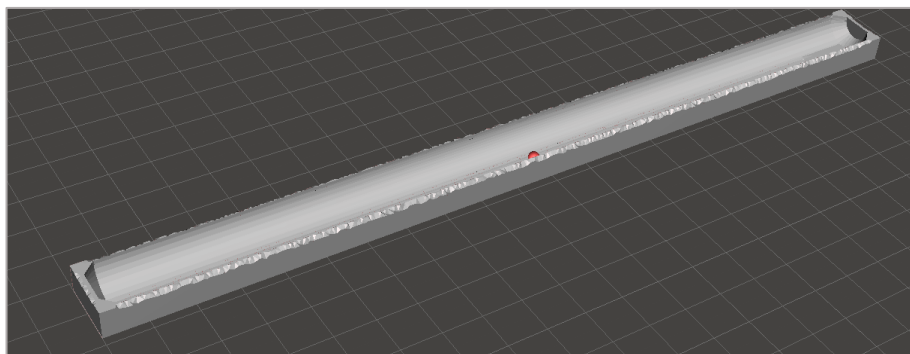
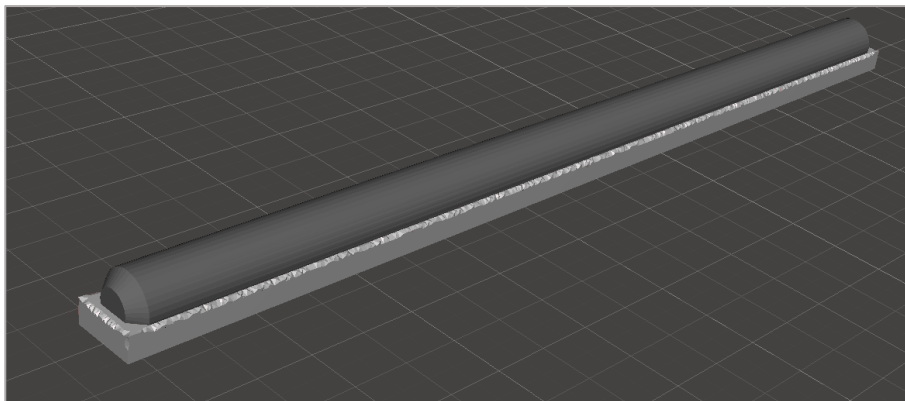
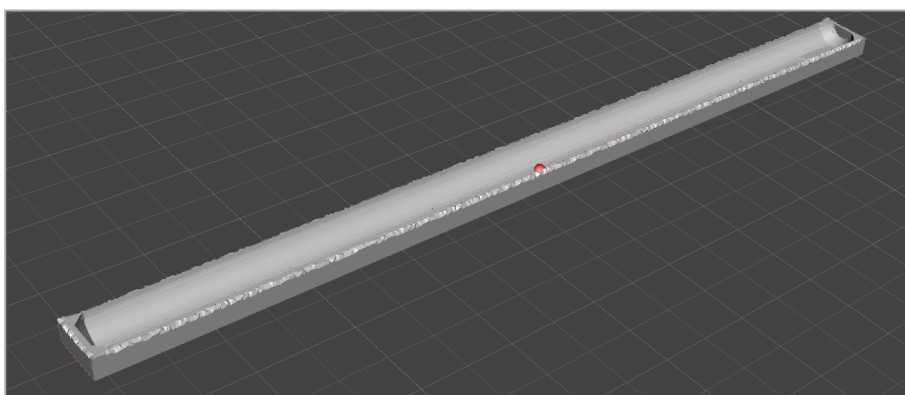
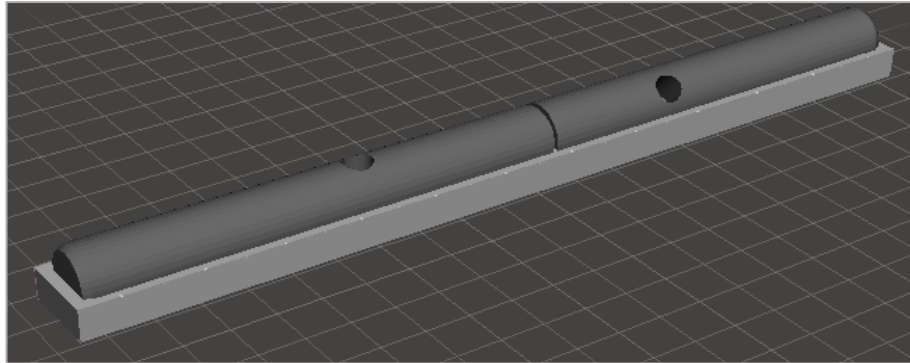


Imagen D3. 37 Modificación realizada sobre el archivo barra corta

barra larga**Estructura de soporte en negativo****Imagen D3. 38** Modificación realizada sobre el archivo barra larga

P1



Estructura de soporte en negativo

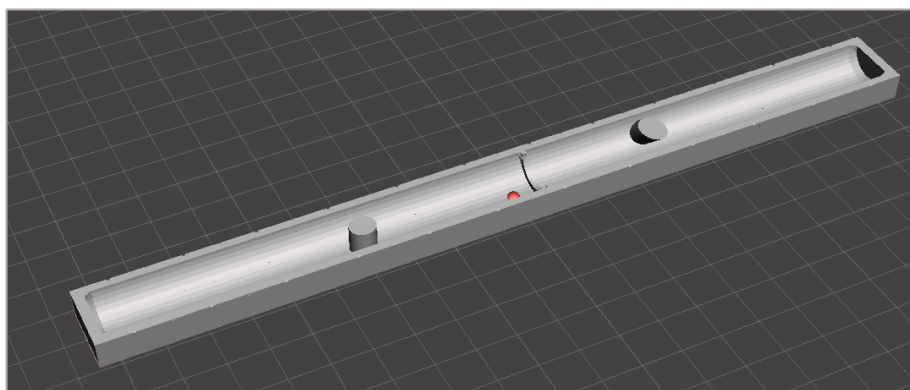
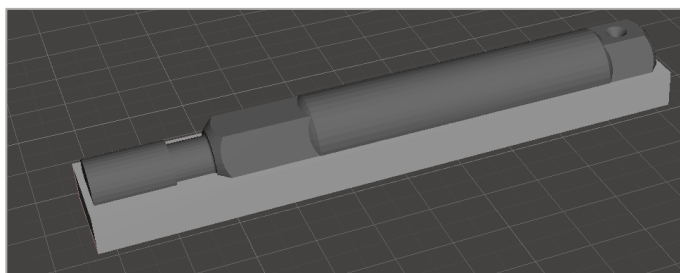


Imagen D3. 39 Modificación realizada sobre el archivo P1

P4.b



Estructura de soporte en negativo

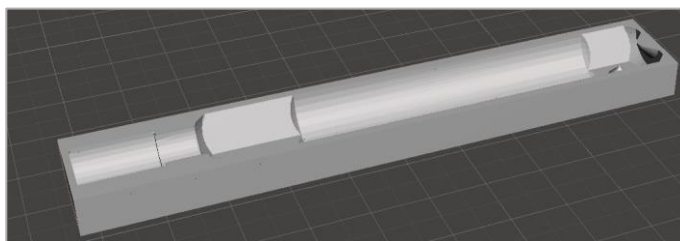
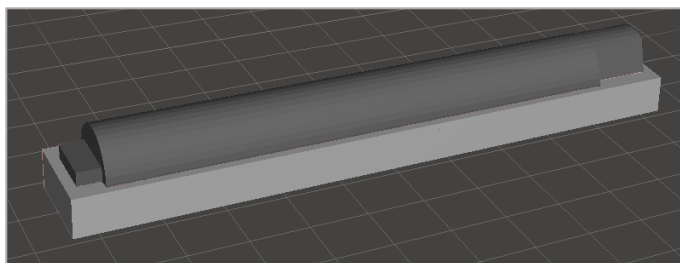


Imagen D3. 40 Modificación realizada sobre el archivo P4.b

P5.a_B



Estructura de soporte en negativo

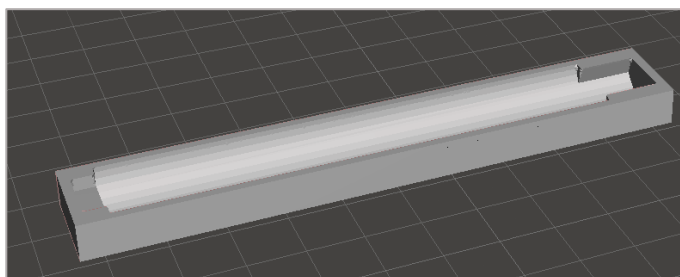
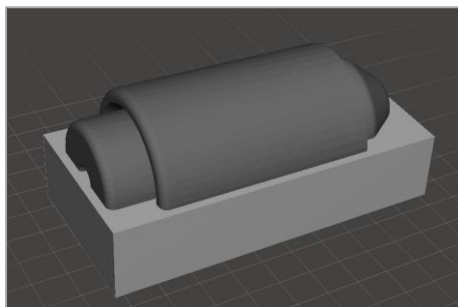


Imagen D3. 41 Modificación realizada sobre el archivo P5.a_B

P7.a_B



Estructura de soporte en negativo

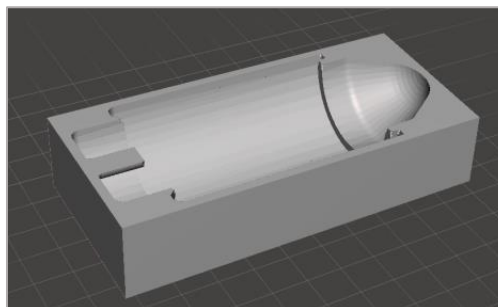
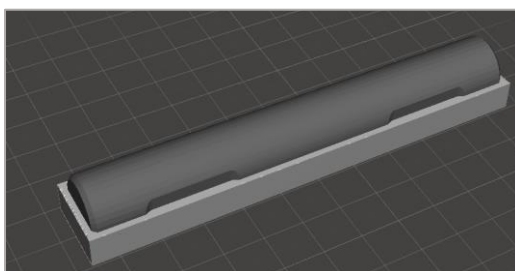


Imagen D3. 42 Modificación realizada sobre el archivo P7.a_B

PASADOR



Estructura de soporte en negativo

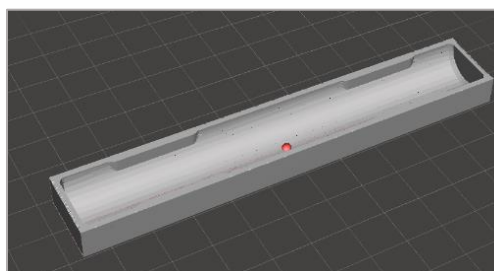
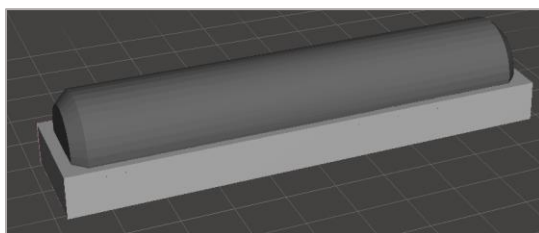


Imagen D3. 43 Modificación realizada sobre el archivo PASADOR

Carcasa_union



Estructura de soporte en negativo

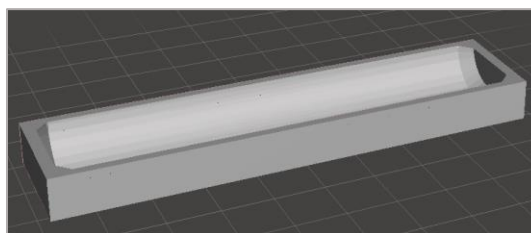


Imagen D3. 44 Modificación realizada sobre el archivo Carcasa_union

D4. Cura BCN3D – Conversión a G-code

- Criterios generales empleados para la creación de los archivos G-code
 - Se ha intentado conseguir la máxima calidad posible en todas las piezas sin que esto suponga un incremento excesivo del tiempo de impresión.
 - Se ha intentado, en la medida de lo posible que la sección de mayor área de cada pieza se encuentre en la primera capa a imprimir. El objetivo de esto es conseguir una mayor estabilidad y adherencia de la pieza sobre la cama caliente durante el proceso de impresión.
 - Por norma general las piezas se han impreso en el centro de la plataforma.
 - Por norma general, se ha generado un borde de 5 mm de ancho en la primera capa de impresión en las piezas cuya capa base no suponía la sección de mayor área de la pieza.
 - Se ha intentado evitar los voladizos y ángulos negativos en la medida de lo posible. Esto se ha hecho variando la posición de impresión de las piezas o incluso dividiendo estas en varias partes como se ha expuesto en los ajustes realizados en Meshmixer (Modificación 2 del Anexo D3).
 - Se ha evitado, en la medida de lo posible, colocar piezas esbeltas en posición vertical. Ya que, debido a su forma, su impresión en vertical hubiese causado demasiadas secciones críticas en dichas piezas como se ha expuesto en los ajustes realizados en Meshmixer (Modificación 6 del Anexo D3).

- Criterios específicos de algunas piezas empleados para la creación de los archivos G-codes
 - Para los archivos EJE PRIMARIO_A, EJE PRIMARIO_B, EJE SECUNDARIO_A y EJE SECUNDARIO_B se ha aplicado los siguientes criterios específicos.

Estas piezas se han impreso al fondo de la plataforma con el objetivo de minimizar el efecto warping (véase Imagen 5. 3) que se produce en sus esquinas como consecuencia de que su capa base ocupe un área muy alargada.

Asimismo, se han impreso a lo largo del eje X de la impresora, no del eje Y (Imagen D4. 1). Esto es debido a que, por la forma de la propia impresora, la parte trasera está más cubierta mientras que la delantera queda más desprotegida de la temperatura exterior (Imagen 5. 4). Lo cual provoca un gradiente de temperaturas a lo largo del eje Y que acentúa el efecto warping en la zona delantera de la impresora y lo minimiza en la trasera. En cambio, en el eje X, la temperatura se puede considerar más uniforme.

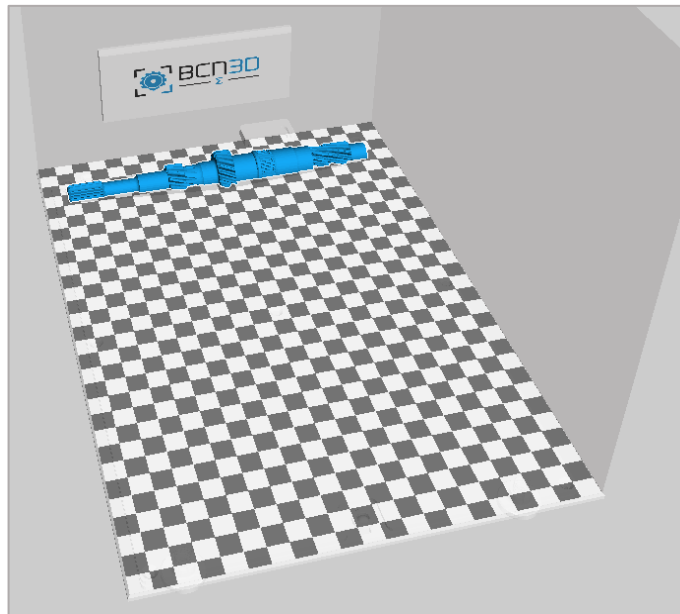


Imagen D4. 1 Posición de impresión de los ejes primario y secundario

- Para las piezas esbeltas de la Modificación 6 del Anexo D3 se ha aplicado los siguientes criterios específicos.

Estas piezas han sido impresas con el mismo criterio que los ejes primario y secundario, pero colocadas a lo largo del eje X en el centro de la plataforma. Esto se debe a que su sección es mucho más pequeña y uniforme a lo largo de la piza que la de los ejes. Así pues, no ha sido necesario trasladarlas al fondo de la impresora para asegurar una buena calidad de impresión (Imagen D4. 2).

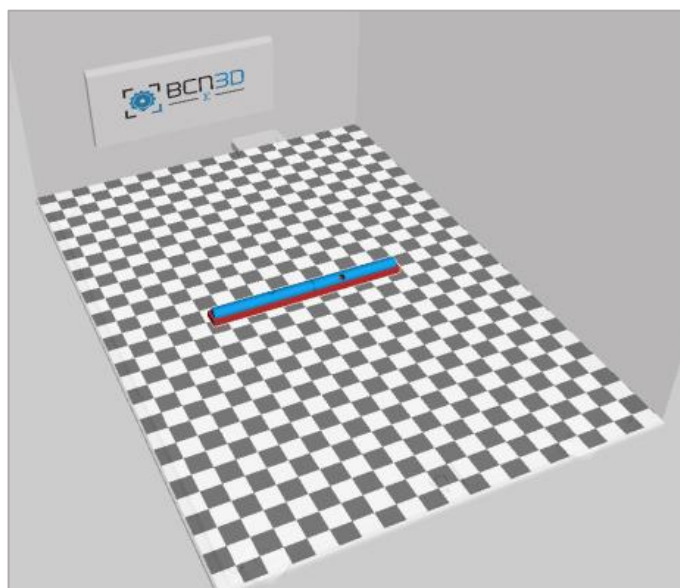


Imagen D4. 2 Posición de impresión de las piezas esbeltas

- Para los archivos Tornillos_ P1_P3.b_A y carcasa2_B_tope se ha aplicado los siguientes criterios específicos.

Estas piezas se han impreso en vertical a pesar de esta ser su sección esbelta y su sección crítica (Imagen D4. 3).

Debido a su pequeño tamaño y su función de mantener piezas unidas, además de ensamblarse recubiertos de pegamento, no ha sido necesario imprimirlos en horizontal. Lo cual hubiese dificultado demasiado su impresión considerando su función y que se han impreso totalmente solidas (relleno al 100%).

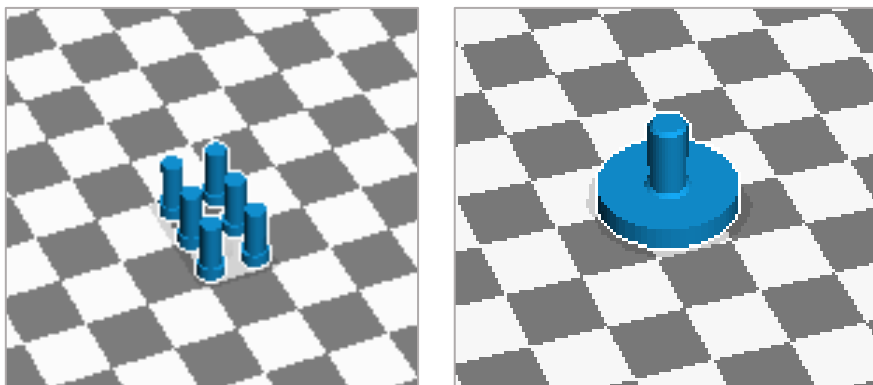


Imagen D4. 3 Posición de impresión de las piezas Tornillos_ P1_P3.b_A y carcasa2_B_tope

- Parámetros configurables en el software Cura BCN3D

A continuación se detalla la utilidad de cada uno de los parámetros configurables con el software. Estos parámetros se dividen en dos categorías “Basic” y “Advanced” (véase Imagen 5. 7). Asimismo, algunas opciones cuentan con menús desplegables con más ajustes llamados “*Expert config*” (Imagen D4. 4). De estos solo se expondrán los parámetros utilizados para la impresión de las piezas.

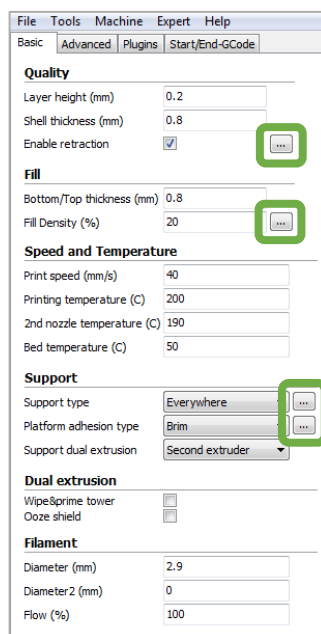


Imagen D4. 4 Localización de los menús de configuración “Expert config”

Tabla D4. 1 Configuración “Basic” en el software Cura BCN3D

CONFIGURACIÓN BASIC	
PARAMETRO	DESCRIPCIÓN
Quality	
Layer height (mm)	Altura de capa, indica el grosor de cada capa a imprimir. Cuando más finas mayor calidad, pero mayor tiempo de impresión (0.2 calidad normal / 0.1 alta calidad).
Shell thickness (mm)	Grosor exterior, indica el grosor de las caras exteriores de la pieza.
Enable retraction	El filamento se retrae cuando el extrusor se mueve sobre un área no impresa. De esta forma se evita que caiga material en zonas no deseadas mientras se desplaza el extrusor.
Fill	
Bottom/Top thickness (mm)	Grosor de las capas inferior y superior de la pieza.
Fill Density (%)	Densidad de relleno, indica el porcentaje de relleno de las piezas. En impresión 3D las piezas no se suelen imprimir macizas, se imprimen normalmente huecas con un mallado interior de un 20% de relleno y 80% hueco para ahorrar material y reducir el tiempo de impresión.
Speed and Temperature	
Print speed (mm/s)	Velocidad a la que se desplaza el extrusor durante la impresión.
Printing temperature (C)	Temperatura a la que el primer extrusor calienta su filamento (extrusor izquierdo).
2nd nozzle temperature (C)	Temperatura a la que el segundo extrusor calienta su filamento (extrusor derecho).
Bed temperature (C)	Temperatura a la que se encuentra la cama de impresión para mejorar la

	adherencia del material y minimizar el efecto warping (véase Imagen 5. 3).
Support	
Support type	Tipo de estructuras de soporte (sin soporte / soportes tocando la cama de impresión / soportes en todas partes).
Menú <i>Expert config</i>	
- Structure type	Tipo de forma de la estructura de soportes (líneas o cuadrícula).
- Overhang angle for support (deg)	Ángulo por debajo del cual se colocan estructuras de soporte (véase Imagen 5. 1). 0º implica colocar soportes en todos lados y 90º no colocar soportes.
- Fill amount (%)	Cantidad de relleno de las estructuras de soporte, indica el porcentaje de relleno de las estructuras de soporte.
- Distance X/Y (mm)	Distancia que sobresalen los soportes de la pieza en el plano X – Y de la impresora.
- Distance Z (mm)	Distancia en el eje Z (vertical) entre las estructuras de soporte y la pieza.
Platform adhesion type	Tipo de adherencia a la plataforma (Sin adherencia / con borde “Brim” / con balsa “Raft”). Dependiendo de la forma de la pieza será mejor un tipo de adherencia u otro.
Menú <i>Expert config</i>	
- Brim line amount	Cantidad de lianas de borde. En el tipo de adherencia “Brim” se puede seleccionar la cantidad de líneas que se quieren imprimir alrededor de la pieza.
Support dual extrusion	Selección del extrusor con el que fabricar los soportes (ambos / primer extrusor / segundo extrusor)
Dual extrusion	
Wipe&prime rower	Torre de limpieza. Imprime una torre de sección cuadrada junto a la pieza para limpiar los HotEnds y asegurarse de que el filamento fluye correctamente en cada momento. Mejora la calidad de la pieza impresa, pero aumenta mucho el tiempo de impresión.
Ooze shield	Escudo de escoria, imprime una capa exterior alrededor de la pieza en la que se engancha la escoria arrastrada por los extrusores para mejora la calidad de la pieza impresa. Pero aumenta mucho el tiempo de impresión.
Filament	
Diameter (mm)	Diámetro del filamento del primer extrusor
Diameter2 (mm)	Diámetro del filamento del segundo extrusor
Flow (%)	Porcentaje de compensación del flujo. La cantidad de material extruido se multiplica por este porcentaje a modo de facto corrector.

Tabla D4. 2 Configuración “Advanced” en el software Cura BCN3D

CONFIGURACIÓN ADVANCED	
PARAMETRO	DESCRIPCIÓN
Machine	
Nozzle size (mm)	Tamaño del orificio de los Nozzles (HotEnds) de la impresora
Retraction	
Speed (mm/s)	Velocidad con la que el filamento se retrae
Distance (mm)	Distancia de material retraído durante la retracción
Dual extrusion switch amount (mm)	Distancia de material retraído al hacer un cambio de extrusor.
Quality	
Initial layer thickness (mm)	Grosor de la primera capa impresa.

Initial layer line width (%)	Factor de corrección del material utilizado en la primera capa. En algunas piezas puede ser de utilidad para mejorar la adherencia.
Cut off object bottom (mm)	Corte de la base de la pieza. Se utiliza para imprimir solo la parte superior de una pieza obviando la parte inferior cortada.
Dual extrusion overlap (mm)	Distancia de superposición entre los materiales de los dos extrusores. Los dos filamentos impresos se pueden superponer una cierta distancia para conseguir una mejor unión entre ellos. Así como mejorar el contraste entre sus colores.
Speed	
Travel speed (mm/s)	Velocidad a la que se desplaza el extrusor.
Bottom layer speed (mm/s)	Velocidad de impresión específica para la capa inferior.
Infill speed (mm/s)	Velocidad de impresión específica para la zona del mallado de relleno interior.
Top/bottom speed (mm/s)	Velocidad de impresión específica para las capas superior e inferior.
Outer shell speed (mm/s)	Velocidad de impresión específica para la zona exterior de las caras externas de la pieza.
Inner shell speed (mm/s)	Velocidad de impresión específica para la zona interior de las caras externas de la pieza.
Cool	
Minimal layer time (sec)	Tiempo mínimo que se puede gastar en una capa.
Enable cooling fan	<p>Ventilador de capa para, su función es enfriar las capas impresas para solidificarlas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - En piezas pequeñas (área X – Y inferior a 100cm² aprox.) es esencial activar esta opción para enfriar la última capa impresa y generar la nueva capa sobre material sólido. - En piezas grandes (área X – Y superior a 100cm² aprox.) no es necesario activar esta opción, ya que las capas tienen tiempo de enfriarse por sí solas debido a su tamaño y esta refrigeración adicional podría acentuar el efecto warping.

- Perfiles de configuraciones de impresión según el tipo de pieza
 - Configuración PLA_PVA HQ

Tabla D4. 3 Configuración “Basic” para el perfil Configuración PLA_PVA HQ

CONFIGURACIÓN BASIC		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Quality		
Layer height (mm)	0.1	Valor recomendado para esta calidad.
Shell thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Enable retraction	Activado	
Fill		
Bottom/Top thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Fill Density (%)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Speed and Temperature		
Print speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Printing temperature (C)	200	Temperatura recomendada para PLA.

2nd nozzle temperature (C)	190	Temperatura recomendada para PVA.
Bed temperature (C)	50	Temperatura recomendada para la cama de impresión.
Support		
Support type	Everywhere	Soportes en todos los lugares necesarios.
Menú <i>Expert config</i>		
- Structure type	Lines	Forma de la estructura de soporte.
- Overhang angle for support (deg)	Variable	En general 65º pero dependiendo la pieza se ha aumentado o disminuido para reducir o aumentar las zonas con soportes.
- Fill amount (%)	90	Densidad elevada de soportes de PVA para mejorar la calidad de impresión.
- Distance X/Y (mm)	0.5	PVA sobresaliendo por los lados de la pieza.
- Distance Z (mm)	0	PVA en contacto vertical con el PLA.
Platform adhesion type	Variable	<ul style="list-style-type: none"> - Brim: Si la capa base supone la sección de mayor área de la pieza, o para disminuir el efecto warping. - None: Si la capa base supone la sección de mayor área de la pieza.
Menú <i>Expert config</i>		
- Brim line amount	Variable	En las piezas con “Brim” normalmente se ha seleccionado 5, a excepción de piezas en las que se acentúa el efecto warping y se ha seleccionado entre 8 y 15.
Support dual extrusion	Second extruder	El segundo extrusor (derecho) lleva el PVA para los soportes.
Dual extrusion		
Wipe&prime row	Desactivado	
Ooze shield	Desactivado	
Filament		
Diameter (mm)	2.9	Diámetro del filamento del primer extrusor redondeado a un decimal.
Diameter2 (mm)	0	Diámetro del filamento del segundo extrusor. 0 significa mismo diámetro que el primer extrusor.
Flow (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.

Tabla D4. 4 Configuración “Advanced” para el perfil Configuración PLA_PVA HQ

CONFIGURACIÓN ADVANCED		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Machine		
Nozzle size (mm)	0.4	Valor recomendado para esta calidad.
Retraction		
Speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Distance (mm)	4	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion switch amount (mm)	9	Valor recomendado para esta calidad.
Quality		
Initial layer thickness (mm)	0.2	Valor recomendado para esta calidad.
Initial layer line width (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.

Cut off object bottom (mm)	0	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion overlap (mm)	0.15	Valor recomendado para esta calidad.
Speed		
Travel speed (mm/s)	200	Valor recomendado para esta calidad.
Bottom layer speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Infill speed (mm/s)	50	Valor recomendado para esta calidad.
Top/bottom speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Outer shell speed (mm/s)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Inner shell speed (mm/s)	30	Valor recomendado para esta calidad.
Cool		
Minimal layer time (sec)	5	Valor recomendado para esta calidad.
Enable cooling fan	Variable	Dependiendo de si el área de la pieza en el plano X – Y es superior o inferior a 100cm ² .

○ Configuración PLA_PLA HQ

Tabla D4. 5 Configuración “Basic” para el perfil Configuración PLA_PLA HQ

CONFIGURACIÓN BASIC		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Quality		
Layer height (mm)	0.1	Valor recomendado para esta calidad.
Shell thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Enable retraction	Desactivado	Se ha desactivado para estas piezas ya que, por su forma, el filamento se ve obligado a retraerse constantemente. Esto provoca una deformación del filamento en el punto del engranaje impulsor. Como consecuencia, se obstruye el filamento en su conducto y no llega hasta el HotEnd. Así pues, desactivando esta opción se evita la excesiva retracción que obstruye el filamento.
Fill		
Bottom/Top thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Fill Density (%)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Speed and Temperature		
Print speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Printing temperature (C)	200	Temperatura recomendada para PLA.
2nd nozzle temperature (C)	200	Temperatura recomendada para PLA.
Bed temperature (C)	50	Temperatura recomendada para la cama de impresión.
Support		
Support type	Touching buildplate	Soportes solo en zonas necesarias en contacto con la cama caliente.
<i>Menú Expert config</i>		
- Structure type	Lines	Forma de la estructura de soporte.
- Overhang angle for support (deg)	Variable	En general 65º pero dependiendo la pieza se ha aumentado o disminuido para reducir o aumentar las zonas con soportes.
- Fill amount (%)	40	Densidad baja de soportes de PLA para poder retirarlos fácilmente.
- Distance X/Y (mm)	0.7	PVA sobresaliendo por los lados de la pieza.
- Distance Z (mm)	0.1	PLA de soporte separado en vertical del PLA de la pieza.
Platform adhesion type	Brim	La capa base no supone la sección de mayor área de la pieza.

Menú <i>Expert config</i>		
- Brim line amount	Variable	En las piezas con "Brim" normalmente se ha seleccionado 5, a excepción de piezas en las que se acentúa el efecto warping y se ha seleccionado entre 8 y 15.
Support dual extrusion	Second extruder	El segundo extrusor (derecho) lleva el PVA para los soportes.
Dual extrusion		
Wipe&prime row	Desactivado	
Ooze shield	Desactivado	
Filament		
Diameter (mm)	2.9	Diámetro del filamento del primer extrusor redondeado a un decimal.
Diameter2 (mm)	0	Diámetro del filamento del segundo extrusor. 0 significa mismo diámetro que el primer extrusor.
Flow (%)	100	Valor recomendado para esta calidad

Tabla D4. 6 Configuración "Advanced" para el perfil Configuración PLA_PLA HQ

CONFIGURACIÓN ADVANCED		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Machine		
Nozzle size (mm)	0.4	Valor recomendado para esta calidad
Retraction		
Speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad
Distance (mm)	4	Valor recomendado para esta calidad
Dual extrusion switch amount (mm)	9	Valor recomendado para esta calidad
Quality		
Initial layer thickness (mm)	0.2	Valor recomendado para esta calidad
Initial layer line width (%)	100	Valor recomendado para esta calidad
Cut off object bottom (mm)	0	Valor recomendado para esta calidad
Dual extrusion overlap (mm)	0.15	Valor recomendado para esta calidad
Speed		
Travel speed (mm/s)	200	Valor recomendado para esta calidad
Bottom layer speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad
Infill speed (mm/s)	50	Valor recomendado para esta calidad
Top/bottom speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad
Outer shell speed (mm/s)	20	Valor recomendado para esta calidad
Inner shell speed (mm/s)	30	Valor recomendado para esta calidad
Cool		
Minimal layer time (sec)	5	Valor recomendado para esta calidad
Enable cooling fan	Activado	El área de la pieza en el plano X – Y es inferior a 100cm ² .

○ Configuración PLA HQ

Tabla D4. 7 Configuración “Basic” para el perfil Configuración PLA HQ

CONFIGURACIÓN BASIC		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Quality		
Layer height (mm)	0.1	Valor recomendado para esta calidad.
Shell thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Enable retraction	Activado	
Fill		
Bottom/Top thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Fill Density (%)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Speed and Temperature		
Print speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Printing temperature (C)	200	Temperatura recomendada para PLA.
2nd nozzle temperature (C)	0	No se han necesitado soportes de PVA.
Bed temperature (C)	50	Temperatura recomendada para la cama de impresión.
Support		
Support type	None	No se han necesitado soportes de PVA.
Platform adhesion type	Variable	<ul style="list-style-type: none"> - Brim: Si la capa base no supone la sección de mayor área de la pieza, o para disminuir el efecto warping. - None: Si la capa base supone la sección de mayor área de la pieza.
Menú Expert config		
- Brim line amount	Variable	En las piezas con “Brim” normalmente se ha seleccionado 5, a excepción de piezas en las que se acentúa el efecto warping y se ha seleccionado entre 8 y 15.
Support dual extrusion	Second extruder	Es indiferente ya que no se han necesitado soportes de PVA.
Dual extrusion		
Wipe&prime rower	Desactivado	
Ooze shield	Desactivado	
Filament		
Diameter (mm)	2.9	Diámetro del filamento del primer extrusor redondeado a un decimal.
Diameter2 (mm)	0	Diámetro del filamento del segundo extrusor. 0 significa mismo diámetro que el primer extrusor.
Flow (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.

Tabla D4. 8 Configuración “Advanced” para el perfil Configuración PLA HQ

CONFIGURACIÓN ADVANCED		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Machine		
Nozzle size (mm)	0.4	Valor recomendado para esta calidad.
Retraction		
Speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Distance (mm)	4	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion switch amount (mm)	9	Valor recomendado para esta calidad.
Quality		
Initial layer thickness (mm)	0.2	Valor recomendado para esta calidad.
Initial layer line width (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.
Cut off object bottom (mm)	0	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion overlap (mm)	0.15	Valor recomendado para esta calidad.
Speed		
Travel speed (mm/s)	200	Valor recomendado para esta calidad.
Bottom layer speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Infill speed (mm/s)	50	Valor recomendado para esta calidad.
Top/bottom speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Outer shell speed (mm/s)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Inner shell speed (mm/s)	30	Valor recomendado para esta calidad.
Cool		
Minimal layer time (sec)	5	Valor recomendado para esta calidad.
Enable cooling fan	Variable	Dependiendo de si el área de la pieza en el plano X – Y es superior o inferior a 100cm ² .

○ Configuración PLA HQ 100

Tabla D4. 9 Configuración “Basic” para el perfil Configuración PLA HQ 100

CONFIGURACIÓN BASIC		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Quality		
Layer height (mm)	0.1	Valor recomendado para esta calidad.
Shell thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Enable retraction	Activado	
Fill		
Bottom/Top thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Fill Density (%)	100	Piezas macizas.
Speed and Temperature		
Print speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Printing temperature (C)	200	Temperatura recomendada para PLA.
2nd nozzle temperature (C)	0	No se han necesitado soportes de PVA.
Bed temperature (C)	50	Temperatura recomendada para la cama de impresión.
Support		

Support type	None	No se han necesitado soportes de PVA.
Platform adhesion type	Variable	<ul style="list-style-type: none"> - Brim: Si la capa base no supone la sección de mayor área de la pieza, o para disminuir el efecto warping. - None: Si la capa base supone la sección de mayor área de la pieza.
Menú <i>Expert config</i>		
- Brim line amount	5	Valor recomendado para este tipo de piezas.
Support dual extrusion	Second extruder	Es indiferente ya que no se han necesitado soportes de PVA.
Dual extrusion		
Wipe&prime row	Desactivado	
Ooze shield	Desactivado	
Filament		
Diameter (mm)	2.9	Diámetro del filamento del primer extrusor redondeado a un decimal.
Diameter2 (mm)	0	Diámetro del filamento del segundo extrusor. 0 significa mismo diámetro que el primer extrusor.
Flow (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.

Tabla D4. 10 Configuración "Advanced" para el perfil Configuración PLA HQ 100

CONFIGURACIÓN ADVANCED		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Machine		
Nozzle size (mm)	0.4	Valor recomendado para esta calidad.
Retraction		
Speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Distance (mm)	4	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion switch amount (mm)	9	Valor recomendado para esta calidad.
Quality		
Initial layer thickness (mm)	0.2	Valor recomendado para esta calidad.
Initial layer line width (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.
Cut off object bottom (mm)	0	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion overlap (mm)	0.15	Valor recomendado para esta calidad.
Speed		
Travel speed (mm/s)	200	Valor recomendado para esta calidad.
Bottom layer speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Infill speed (mm/s)	50	Valor recomendado para esta calidad.
Top/bottom speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Outer shell speed (mm/s)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Inner shell speed (mm/s)	30	Valor recomendado para esta calidad.
Cool		
Minimal layer time (sec)	5	Valor recomendado para esta calidad.
Enable cooling fan	Activado	El área de la pieza en el plano X – Y es inferior a 100cm ² .

○ Configuración PLA_PVA STD

Tabla D4. 11 Configuración “Basic” para el perfil Configuración PLA_PVA STD

CONFIGURACIÓN BASIC		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Quality		
Layer height (mm)	0.2	Valor recomendado para esta calidad.
Shell thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Enable retraction	Activado	
Fill		
Bottom/Top thickness (mm)	0.8	Valor recomendado para esta calidad.
Fill Density (%)	20	Valor recomendado para esta calidad.
Speed and Temperature		
Print speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Printing temperature (C)	200	Temperatura recomendada para PLA.
2nd nozzle temperature (C)	190	Temperatura recomendada para PVA.
Bed temperature (C)	50	Temperatura recomendada para la cama de impresión.
Support		
Support type	Everywhere	Soportes en todos los lugares necesarios.
Menú <i>Expert config</i>		
- Structure type	Lines	Forma de la estructura de soporte.
- Overhang angle for support (deg)	Variable	En general 65º pero dependiendo la pieza se ha aumentado o disminuido para reducir o aumentar las zonas con soportes.
- Fill amount (%)	50	Densidad media de soportes de PVA.
- Distance X/Y (mm)	0.7	PVA sobresaliendo por los lados de la pieza.
- Distance Z (mm)	0	PVA en contacto vertical con el PLA.
Platform adhesion type	Brim	Debido a que la capa base no supone la sección de mayor área de la pieza y para disminuir el efecto warping.
Menú <i>Expert config</i>		
- Brim line amount	Variable	En las piezas con “Brim” normalmente se ha seleccionado 5, a excepción de piezas en las que se acentúa el efecto warping y se ha seleccionado entre 8 y 15.
Support dual extrusion	Second extruder	El segundo extrusor (derecho) lleva el PVA para los soportes.
Dual extrusion		
Wipe&prime rower	Desactivado	
Ooze shield	Desactivado	
Filament		
Diameter (mm)	2.9	Diámetro del filamento del primer extrusor redondeado a un decimal.
Diameter2 (mm)	0	Diámetro del filamento del segundo extrusor. 0 significa mismo diámetro que el primer extrusor.
Flow (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.

Tabla D4. 12 Configuración “Advanced” para el perfil Configuración PLA_PVA STD

CONFIGURACIÓN ADVANCED		
PARAMETRO	VALOR	OBSERVACIONES
Machine		
Nozzle size (mm)	0.4	Valor recomendado para esta calidad.
Retraction		
Speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Distance (mm)	4	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion switch amount (mm)	9	Valor recomendado para esta calidad.
Quality		
Initial layer thickness (mm)	0.25	Valor recomendado para esta calidad.
Initial layer line width (%)	100	Valor recomendado para esta calidad.
Cut off object bottom (mm)	0	Valor recomendado para esta calidad.
Dual extrusion overlap (mm)	0.15	Valor recomendado para esta calidad.
Speed		
Travel speed (mm/s)	200	Valor recomendado para esta calidad.
Bottom layer speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Infill speed (mm/s)	60	Valor recomendado para esta calidad.
Top/bottom speed (mm/s)	40	Valor recomendado para esta calidad.
Outer shell speed (mm/s)	35	Valor recomendado para esta calidad.
Inner shell speed (mm/s)	50	Valor recomendado para esta calidad.
Cool		
Minimal layer time (sec)	5	Valor recomendado para esta calidad.
Enable cooling fan	Variable	Dependiendo de si el área de la pieza en el plano X – Y es superior o inferior a 100cm ² .

D5. Impresión de las piezas

Tabla D5. 1 Listado de archivos del proyecto original no impresos

PIEZAS NO IMPRESAS	
ARCHIVOS DE PIEZAS NO IMPRESAS	MOTIVO
bola bujes	Pieza demasiado pequeña
Chaveta	Pieza demasiado pequeña
Muelle bujes	No resulta de utilidad la impresión de un muelle
CHAPA PLANETARIO	Dificulta el movimiento otras piezas en lugar de favorecerlo
chapa satellite	Dificulta el movimiento otras piezas en lugar de favorecerlo
ARO_3 1ª	Pieza demasiado pequeña, causa fricción y no ayuda al engrane del mecanismo
ARO_3 2ª	Pieza demasiado pequeña, causa fricción y no ayuda al engrane del mecanismo
ARO_3 3ª	Pieza demasiado pequeña, causa fricción y no ayuda al engrane del mecanismo
muelle ejes horquillas	No resulta de utilidad la impresión de un muelle
P3.g	No resulta de utilidad la impresión de un muelle
P7.b	Pieza incorporada al archivo P7.a_B
P9.b	Pieza innecesaria para el mecanismo
P10	Sustituida por las piezas del archivo Tornillos_ P1_P3.b_A
Rodamiento de jaula y agujas (PCarcasa a)	Pieza demasiado pequeña, causa fricción y no ayuda al giro del mecanismo
Rodamiento de jaula y bolas	Pieza demasiado pequeña, causa fricción y no ayuda al giro del mecanismo
Rodamiento de jaula y agujas	Pieza demasiado pequeña, causa fricción y no ayuda al giro del mecanismo

Tabla D5. 2 Archivos impresos con el perfil Configuración PLA_PVA HQ para una maqueta

CONFIGURACIÓN PLA_PVA HQ				
ARCHIVO	CANTIDAD IMPRESA	MATERIALES	TIEMPO ESTIMADO DE IMPRESIÓN	METROS Y GRAMOS DE FILAMENTO EMPLEADO
MA PLANA (EJE AUXILIAR)	1	PLA Silver PVA	1:19h	0.68m 5g 0.11m 1g
1 CONO	1	PLA Silver PVA	2:53h	1.53m 13g 0.21m 2g
2 CONO	1	PLA Silver PVA	2:27h	1.19m 10g 0.14m 1g
ARO_1 1ª y 2ª	2	PLA Silver PVA	0:39h	0.20m 2g 0.14m 1g
3 CONO	1	PLA Silver PVA	1:22h	0.63m 5g 0.03m 0g
ARO_1 3ª	1	PLA Silver PVA	0:27h	0.13m 1g 0.09m 1g
4 CONO	1	PLA Silver PVA	1:42h	0.81m 7g 0.10m 1g
5 CONO	1	PLA Silver PVA	1:10h	0.52 4g 0.02 0g
MA CONO	1	PLA Silver PVA	2:21h	1.25m 10g 0.14m 1g
buje 1a-2a	1	PLA Silver PVA	1:34h	0.59m 5g 0.30m 2g
desplazable 1a-2a	1	PLA Silver PVA	1:40h	0.63m 5g 0.15m 1g
buje 3a-4a	1	PLA Silver PVA	1:10h	0.46m 4g 0.18m 1g
desplazable 3a-4a	1	PLA Silver PVA	1:16h	0.45m 4g 0.14m 1g
buje 5a-MA	1	PLA Silver PVA	1:12h	0.48m 4g 0.19m 2g
desplazable 5a-MA	1	PLA Silver PVA	1:22h	0.54m 4g 0.18m 1g
barra corta	1	PLA Silver PVA	1:05h	0.41m 3g 0.17m 1g
barra larga	1	PLA Silver PVA	1:14h	0.47m 4g 0.17m 1g
horquilla 1a-2a	1	PLA Brown PVA	1:45h	0.64m 5g 0.15m 1g
horquilla 3a-4a.a	1	PLA Brown PVA	2:55h	0.84m 7g 0.57m 5g
horquilla 3a-4a.b	1	PLA Silver	0:16h	0.06m 1g

		PVA		0.12m 1g
horquilla 5a-MA	1	PLA Brown PVA	2:05h	0.72m 6g 0.39m 3g
P1	1	PLA Silver PVA	1:17h	0.39m 3g 0.26m 2g
P2	1	PLA Silver PVA	0:58h	0.34m 3g 0.23m 2g
P3.b_B	1	PLA Silver PVA	0:08h	0.06m 0g 0.01m 0g
P4.a	1	PLA Silver PVA	0:31h	0.19m 2g 0.14m 1g
P4.b	1	PLA Silver PVA	0:35h	0.17m 1g 0.12m 1g
P4.c	1	PLA Silver PVA	0:15h	0.09m 1g 0.03m 0g
P5.a_A	1	PLA Silver PVA	0:13h	0.09m 1g 0.04m 0g
P 5.a_B	1	PLA Silver PVA	0:34h	0.19m 2g 0.10m 1g
P5.b	1	PLA Silver PVA	0:15h	0.13m 1g 0.00m 0g
P6	1	PLA Brown PVA	0:11h	0.05m 0g 0.01m 0g
P7.a_A	1	PLA Silver PVA	0:44h	0.20m 2g 0.23m 2g
P7.a_B	1	PLA Silver PVA	0:24h	0.10m 1g 0.07m 1g
P8	1	PLA Silver PVA	0:31h	0.24m 2g 0.04m 0g
caja diferencial_A1	1	PLA Silver PVA	5:28h	2.36m 19g 0.69m 6g
caja diferencial_A2	1	PLA Silver PVA	5:28h	2.36m 19g 0.69m 6g
CORONA	1	PLA Silver PVA	8:48h	4.04m 33g 0.68m 6g
PASADOR	1	PLA Silver PVA	0:43h	0.24m 2g 0.13m 1g
PLANETARIO	2	PLA Silver PVA	1:03h	0.39m 3g 0.21m 2g
SATELITE	2	PLA Silver PVA	0:26h	0.19m 2g 0.04m 0g
Carcasa_union	2	PLA Grey PVA	0:05h	0.03m 0g 0.01m 0g

Tabla D5. 3 Archivos impresos con el perfil Configuración PLA_PLA HQ para una maqueta

CONFIGURACIÓN PLA_PLA HQ				
ARCHIVO	CANTIDAD IMPRESA	MATERIALES	TIEMPO ESTIMADO DE IMPRESIÓN	METROS Y GRAMOS DE FILAMENTO EMPLEADO
Rodamiento conico eje primario (1a)	1	PLA Silver PLA Black	0:47h	0.28m 2g 0.07m 1g
Rodamiento conico eje primario (MA)	1	PLA Silver PLA Black	0:40h	0.23m 2g 0.06m 0g
Rodamiento conico eje secundario	2	PLA Silver PLA Black	1:00h	0.37m 3g 0.10m 1g
Rodamiento conico corona	2	PLA Silver PLA Black	1:01	0.38m 3g 0.09m 1g

Tabla D5. 4 Archivos impresos con el perfil Configuración PLA HQ para una maqueta

CONFIGURACIÓN PLA HQ				
ARCHIVO	CANTIDAD IMPRESA	MATERIALES	TIEMPO ESTIMADO DE IMPRESIÓN	METROS Y GRAMOS DE FILAMENTO EMPLEADO
5 PLANA (EJE PRIMARIO)	1	PLA Silver	1:35h	0.91m 7g
ENGRANAJE (EJE SECUNDARIO)	1	PLA Silver	1:45h	0.82m 7g
CONO 1ª y ARO_2 1ª	1	PLA Silver	0:35h	0.32m 3g
CONO 2ª y ARO_2 2ª	1	PLA Silver	0:35h	0.32m 3g
CONO 3ª y ARO_2 3ª	1	PLA Silver	0:29h	0.25m 2g
ARO_1 4ª	1	PLA Silver	0:14h	0.12m 1g
CONO 4ª	1	PLA Silver	0:33h	0.29m 2g
ARO_1 5ª	1	PLA Silver	0:15h	0.12m 1g
CONO 5ª	1	PLA Silver	0:31h	0.26m 2g
ARO_1 MA	1	PLA Silver	0:16h	0.12m 1g
CONO MA	1	PLA Silver	0:35h	0.32m 3g
EJE PRIMARIO_A	1	PLA Silver	2:42h	1.54m 13g
EJE PRIMARIO_B	1	PLA Silver	2:40h	1.52m 12g
EJE SECUNDARIO_A	1	PLA Silver	3:36h	2.07m 17g
EJE SECUNDARIO_B	1	PLA Silver	3:33h	2.06m 17g
EJE PRIMARIO Y SECUNDARIO_uniones	2	PLA Silver	0:06h	0.06m 0g
P3.a	1	PLA Silver	0:22h	0.18m 1g
P3.b_A	1	PLA Silver	0:37h	0.41m 3g
P3.c	1	PLA Silver	0:14h	0.14m 1g

P3.d	1	PLA Silver	0:19h	0.18m 1g
P3.e	1	PLA Silver	0:03h	0.03m 0g
P3.f	1	PLA Silver	0:02h	0.02m 0g
P9.a_A	1	PLA Brown	0:30h	0.22m 2g
P9.a_B	1	PLA Brown	0:57h	0.51m 4g
P9.a_uniones	1	PLA Brown	0:01h	0.01m 0g
caja diferencial_A_uniones	1	PLA Silver	0:09h	0.07m 1g
caja diferencial_B	1	PLA Brown	0:40h	0.42m 3g

Tabla D5. 5 Archivos impresos con el perfil Configuración PLA HQ 100 para una maqueta

CONFIGURACIÓN PLA HQ 100				
ARCHIVO	CANTIDAD IMPRESA	MATERIALES	TIEMPO ESTIMADO DE IMPRESIÓN	METROS Y GRAMOS DE FILAMENTO EMPLEADO
Tornillos_ P1_P3.b_A	1	PLA Silver	0:17h	0.11m 1g
carcasa2_B_tope	1	PLA Grey	0:16h	0.15m 1g

Tabla D5. 6 Archivos impresos con el perfil Configuración PLA_PVA STD para una maqueta

CONFIGURACIÓN PLA_PVA STD				
ARCHIVO	CANTIDAD IMPRESA	MATERIALES	TIEMPO ESTIMADO DE IMPRESIÓN	METROS Y GRAMOS DE FILAMENTO EMPLEADO
PCarcasa.a	1	PLA Grey PVA	4:18h	3.58m 29g 1.70m 14g
PCarcasa.b	1	PLA Grey PVA	0:54h	0.88m 7g 0.28m 2g
carcasa1	1	PLA Grey PVA	24:20h	25.98m 213g 10.07m 83g
carcasa2_A	1	PLA Grey PVA	12:41h	12.57m 103g 5.16m 42g
carcasa2_B	1	PLA Grey PVA	8:18h	7.43m 61g 4.73m 39g

Comentar que, en las piezas donde se indican 0.00m o 0g de filamento empleado, se debe a que se usa poca cantidad y el programa no muestra valores en escalas más pequeñas como milímetros o miligramos.

- Estudio del porcentaje aproximado de rechazo de las piezas impresas

En la Tabla D5. 7 se recogen los resultados del estudio de rechazo. Este se ha realizado sobre las impresiones de la segunda y tercera maqueta, en las cuales ya se disponía de unos archivos G-code válidos.

La impresión de la primera maqueta no se ha incluido en este estudio ya que en esta fase se reimprimieron muchos archivos a modo de prueba durante el proceso de obtención de los perfiles de configuraciones de impresión. Por lo cual, solo se ha tenido en cuenta la fase de producción en la que los G-code utilizados ya se podían considerar válidos.

Tabla D5. 7 Resumen del estudio de rechazo

ESTUDIO DE RECHAZO DE PIEZAS IMPRESAS EN 3D				
CONJUNTO DE PIEZAS	PIEZAS RECHAZADAS DURANTE LA IMPRESIÓN	MOTIVO DEL RECHAZO	Nº DE PIEZAS RECHAZADAS	PORCENTAJE APROXIMANDO DE RECHAZO
Maqueta 2	horquilla 3a-4a.a	El efecto warping ha despegado parte de la pieza. Esta se ha impreso mal y ya no es válida para el mecanismo.	7	7,5%
	horquilla 3a-4a.b	El efecto warping ha despegado parte de la pieza. Esta se ha impreso mal y ya no es válida para el mecanismo.		
	SATELITE	Obstrucción del filamento de PVA en el HotEnd		
	Rodamiento conico corona	Obstrucción del filamento de PLA en el tubo debido a la deformación causada por una excesiva retracción		
	EJE SECUNDARIO_A	Obstrucción del filamento de PLA en el HotEnd		
	PCarcasa.a	El efecto warping ha despegado parte de la pieza. Esta se ha impreso mal y ya no es válida para el mecanismo.		
	carcasa2_B	Obstrucción del filamento de PVA en el tubo debido a la deformación causada por una		

		excesiva retracción		
Maqueta 3	desplazable 1a-2ª	Obstrucción del filamento de PVA en el tubo debido a la deformación causada por una excesiva retracción	6	
	desplazable 5a-MA	Obstrucción del filamento de PVA en el tubo debido a la deformación causada por una excesiva retracción		
	horquilla 3a-4a.b	El efecto warping ha despegado parte de la pieza. Esta se ha impreso mal y ya no es válida para el mecanismo.		
	P2	Obstrucción del filamento de PLA en el HotEnd		
	PCarcasa.a	Obstrucción del filamento de PVA en el tubo debido a la deformación causada por una excesiva retracción		
	carcasa2_B	Obstrucción del filamento de PVA en el tubo debido a la deformación causada por una excesiva retracción		

A continuación, se detallan los cálculos aplicados (Ec D5. 1).

- Total de piezas impresas para dos maquetas: 174
- Total de piezas rechazadas para dos maquetas: 13

$$\frac{13 \text{ piezas rechazadas} \cdot 100\%}{174 \text{ piezas totales}} = 7,5\% \text{ de rechazo}$$

Ec D5. 1

Así pues, aproximadamente el 7,5% de las piezas impresas son rechazadas. Se considera un porcentaje aceptable dado el método de fabricación empelado.

- Listado de posibles fallos durante la impresión
 - Filamento defectuoso.
 - Problema: El filamento se vuelve rígido y se rompe el hilo.
 - Causa: Filamento en contacto con la humedad del aire demasiado tiempo.
 - Solución: Mantener el filamento en un recipiente aislado de la humedad cuando no se utiliza.
 - Impresora descalibrada:
 - Problema: Las piezas se despegan durante la impresión o se imprimen mal (salen movidas).
 - Causa: Plataforma desnivelada, correas destensadas, tornillos sueltos, etc.
 - Solución: Calibrar la impresora y realizar su mantenimiento.
 - Obstrucción del Hot-End:
 - Problema: El extrusor se obstruye y el filamento no sale.
 - Causas:
 - Partículas de filamento quemado obstruyen el Nozzle.
 - Incorrecta nivelación de la plataforma de forma que el Hot-End rasca la plataforma en la primera capa y el filamento se obstruye.
 - Temperatura de impresión errónea.
 - Desgaste del filamento por excesiva retracción.
 - Solución: Nivelar la plataforma, comprobar temperaturas de impresión, purgar el material obstruido (Nylon Purge), retirar la sección de filamento defectuosa.
 - Piezas deformadas o curvadas en las esquinas:
 - Problema: Las piezas se deforman o se curvan e incluso se despegan de la plataforma.
 - Causa: El efecto warping (véase Imagen 5. 3).
 - Solución: Utilizar laca de impresión 3D para mejorar la adherencia de la plataforma, mantener la impresora en un ambiente de unos 24°C, utilizar cama caliente con las temperaturas recomendadas para cada material.
 - Configuración errónea del G-code:
 - Problema: La pieza no sale como se esperaba. Tiene partes colapsadas, se ha despegado de la plataforma, se ha curvado en las esquinas, etc.
 - Causas:
 - Configuración de soportes errónea.
 - Configuración de temperaturas errónea.
 - Configuración de velocidades y calidades errónea.
 - Configuración de relleno errónea.
 - Configuración de adherencia a la placa de impresión errónea.
 - Solución: Rehacer el G-code con los parámetros correctos.

- Imágenes del proceso de impresión

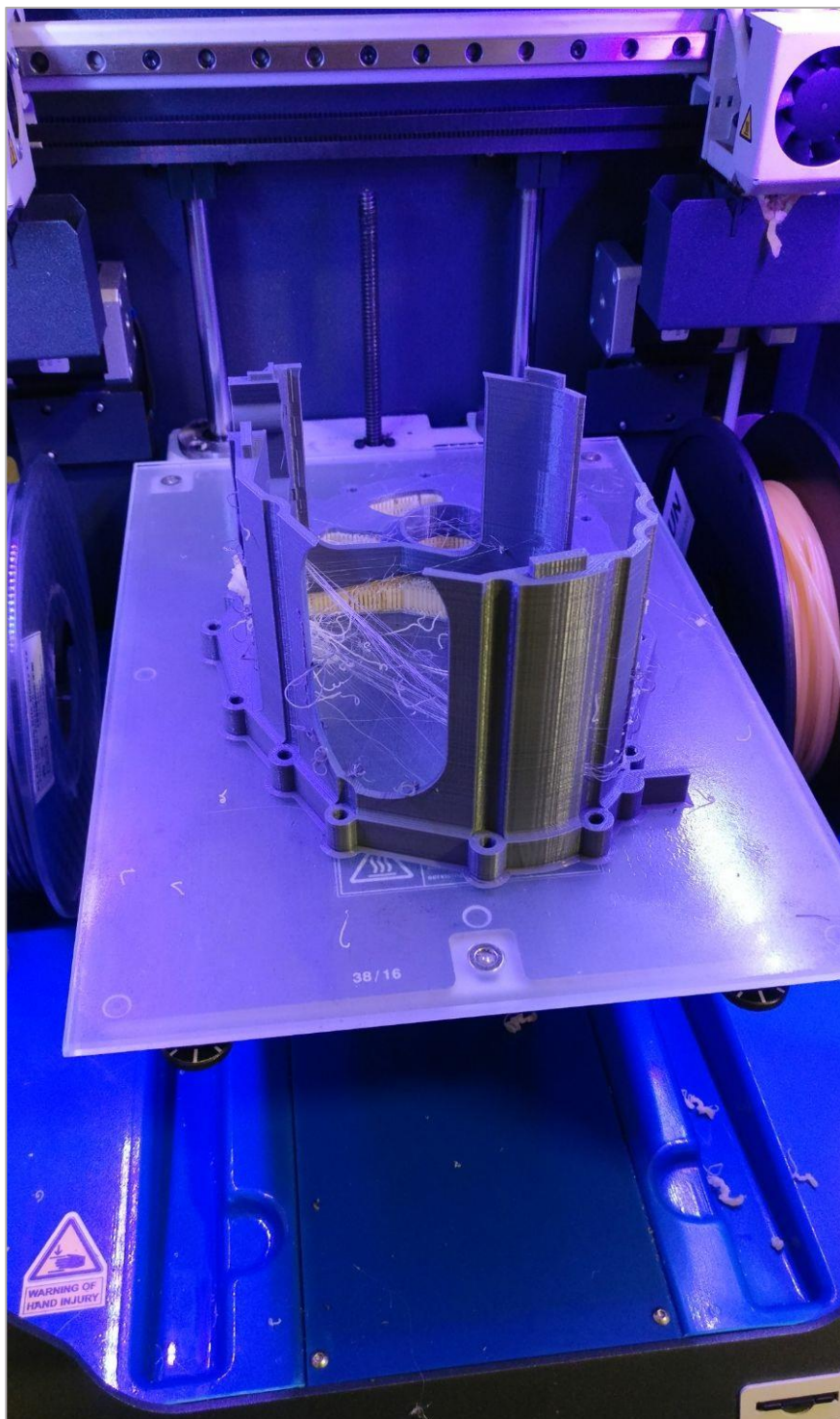


Imagen D5. 1 Impresión de la pieza carcasa2_A con la BCN3D Sigma

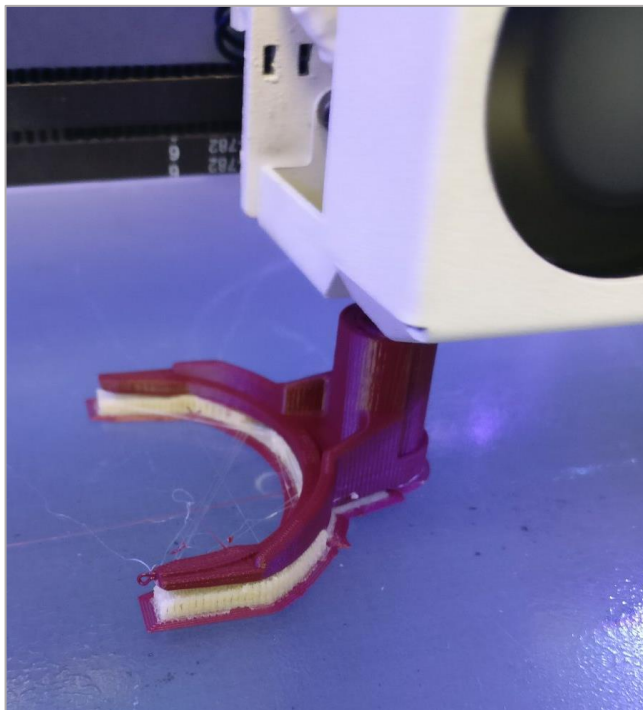


Imagen D5. 2 Impresión de la pieza horquilla 1a-2a con la BCN3D Sigma

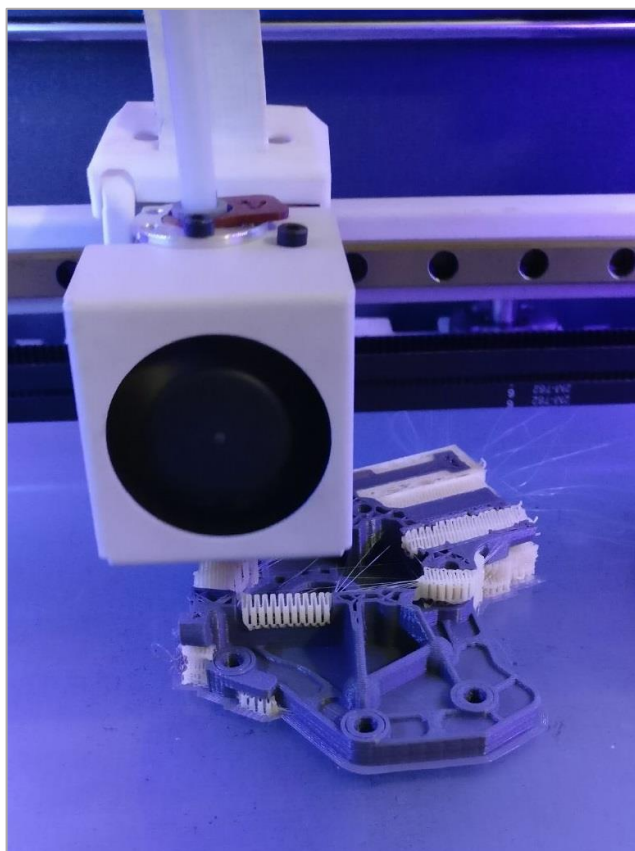


Imagen D5. 3 Impresión de la pieza PCarcasa.a con la BCN3D Sigma

D6. Ensamblaje de la maqueta



Imagen D6. 1 Pieza horquilla 1a-2ª con y sin soportes de PVA

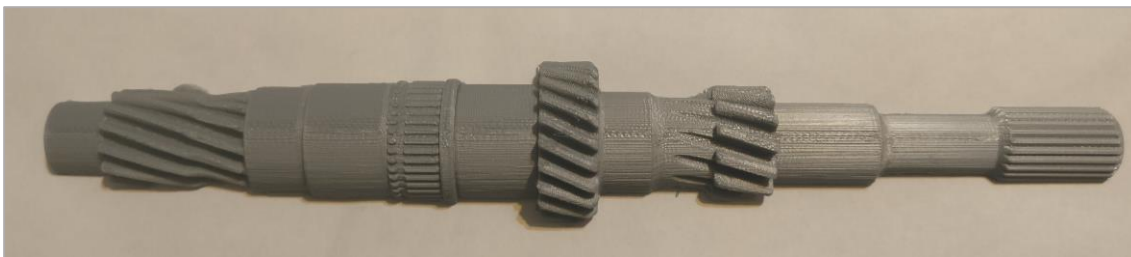
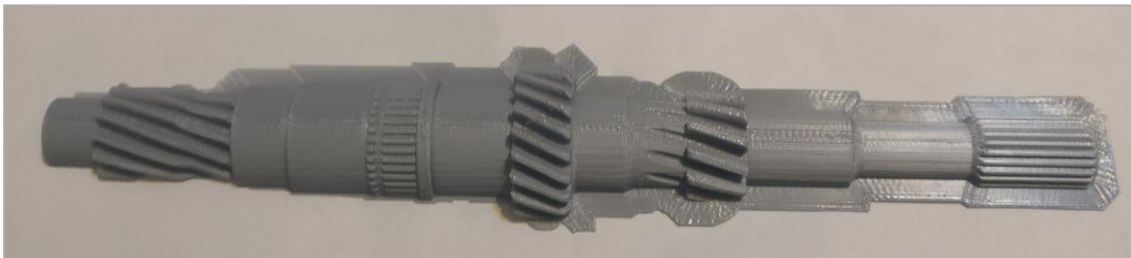


Imagen D6. 2 Pieza EJE PRIMARIO_A con y sin rebabas y borde de impresión

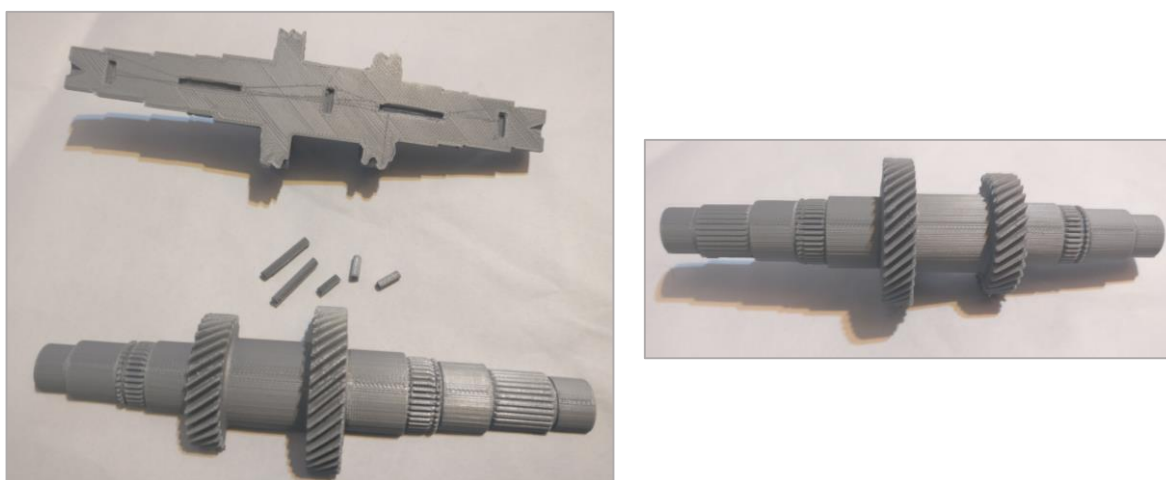


Imagen D6. 3 Partes de la pieza EJE SECUNDARIO sueltas y pegadas con pegamento

Tabla D6. 1 Tornillos y tuercas utilizados para el ensamblaje de la palanca de una maqueta

PALANCA			
	CANTIDAD	MÉTRICA	LONGITUD
TORNILLOS	3	M4	26 mm
	3	M4	60 mm
	CANTIDAD	MÉTRICA	GROSOR
TUERCAS	6	M4	3 mm

Tabla D6. 2 Tornillos y tuercas utilizados para el ensamblaje de la caja diferencial de una maqueta

CAJA DIFERENCIAL			
	CANTIDAD	MÉTRICA	LONGITUD
TORNILLOS	10	M5	16 mm
	CANTIDAD	MÉTRICA	GROSOR
TUERCAS	10	M5	3 mm

Tabla D6. 3 Tornillos y tuercas utilizados para el ensamblaje de las carcasas exteriores de una maqueta

CARCASAS EXTERIORES			
	CANTIDAD	MÉTRICA	LONGITUD
TORNILLOS	16	M4	20 mm
TUERCAS	Tornillos sin tuerca		



Imagen D6. 4 Ensamblaje de la caja diferencial



Imagen D6. 5 Ensamblaje del conjunto de la palanca



Imagen D6. 6 Ensamblaje de la paquetería interior de la caja de cambios



Imagen D6. 7 Ensamblaje de las carcasas exteriores de la caja de cambios

Anexo E

En el Anexo E se incluye la siguiente información:

E1. Desglose de los costes por distribución

E2. Presupuesto completo

E1. Desglose de los costes de material por distribución

Tabla E1. 1 Desglose de los costes del material necesario para automatizar la distribución de ejes.

DISTRIBUCION EJES					
SENORES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
SS	SENSOR SOPORTE	SENSOR CAPACITIVO	44	88,21 €	3.881,24 €
SP	SENSOR PIEZA	SENSOR CAPACITIVO	40	88,21 €	3.528,40 €
SPO	SENSOR PIEZA OPTICO	In-Sight serie 7000	4	2.843,45 €	11.373,80 €
LS	LECTOR QR	IVU2PRBR08	44	1.168,91 €	51.432,04 €
UP	UTIMO SOPORTE	SENSOR OPTICO (REFLEXION)	21	69,07 €	1.450,47 €
PULSADORES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PE	PARO EMERGENCIA	PULSADOR CON ENCLAVAMIENTO	46	4,00 €	184,00 €
P	PULSADOR	PULSADOR	8	4,00 €	32,00 €
M	MARCHA	PULSADOR	46	4,00 €	184,00 €
LUCES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
L	LUZ	LUZ ROTATIVA	46	12,95 €	595,70 €
VALVULAS	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
EVFP	FRENO PRINCIPAL	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	44	35,89 €	1.579,16 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	44	35,89 €	1.579,16 €
EVFP	FRENO PRINCIPAL	PISTON SIMPLE EFECTO	44	58,02 €	2.552,88 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	PISTON SIMPLE EFECTO	44	58,02 €	2.552,88 €
EVP	PASO PIEZA A MÁQUINA	ELECTROIMAN	21	36,30 €	762,30 €
MOTOR	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
M	MOTOR	TRIFASICO	1	78,74 €	78,74 €
M	MOTOR	MONOFASICO	21	69,49 €	1.459,29 €
TOTAL DISTRIBUCION					83.226,06 €

Tabla E1. 2 Desglose de los costes del material necesario para automatizar la distribución del engranaje de 1ª cono y desplazables

DISTRIBUCION 1º CONO Y DESPLAZABLES					
SENORES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
SS	SENSOR SOPORTE	SENSOR CAPACITIVO	36	88,21 €	3.175,56 €
SP	SENSOR PIEZA	SENSOR CAPACITIVO	28	88,21 €	2.469,88 €
SPO	SENSOR PIEZA OPTICO	In-Sight serie 7000	8	2.843,45 €	22.747,60 €
LS	LECTOR QR	IVU2PRBR08	36	1.168,91 €	42.080,76 €
UP	UTIMO SOPORTE	SENSOR OPTICO (REFLEXION)	17	69,07 €	1.174,19 €
Pulsadores	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PE	PARO EMERGENCIA	PULSADOR CON ENCLAVAMIENTO	38	4,00 €	152,00 €
P	PULSADOR	PULSADOR	16	4,00 €	64,00 €
M	MARCHA	PULSADOR	38	4,00 €	152,00 €
LUCES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
L	LUZ	LUZ ROTATIVA	38	12,95 €	492,10 €
VALVULAS	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
EVFP	FRENO PRINCIPAL	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	36	35,89 €	1.292,04 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	36	35,89 €	1.292,04 €
EVFP	FRENO PRINCIPAL	PISTON SIMPLE EFECTO	36	58,02 €	2.088,72 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	PISTON SIMPLE EFECTO	36	58,02 €	2.088,72 €
EVP	PASO PIEZA A MÁQUINA	ELECTROIMAN	15	36,30 €	544,50 €
MOTOR	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
M	MOTOR	TRIFASICO	1	78,74 €	78,74 €
M	MOTOR	MONOFASICO	17	69,49 €	1.181,33 €
TOTAL DISTRIBUCION					81.074,18 €

Tabla E1. 3 Desglose de los costes del material necesario para automatizar la distribución de los engranajes con ranura

DISTRIBUCION ENGRANAJE CON RANURA					
SENORES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
SS	SENSOR SOPORTE	SENSOR CAPACITIVO	30	88,21 €	2.646,30 €
SP	SENSOR PIEZA	SENSOR CAPACITIVO	22	88,21 €	1.940,62 €
SPO	SENSOR PIEZA OPTICO	In-Sight serie 7000	4	2.843,45 €	11.373,80 €
LS	LECTOR QR	IVU2PRBR08	30	1.168,91 €	35.067,30 €
UP	UTIMO SOPORTE	SENSOR OPTICO (REFLEXION)	14	69,07 €	966,98 €
Pulsadores	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PE	PARO EMERGENCIA	PULSADOR CON ENCLAVAMIENTO	32	4,00 €	128,00 €
P	PULSADOR	PULSADOR	8	4,00 €	32,00 €
M	MARCHA	PULSADOR	32	4,00 €	128,00 €
LUCES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
L	LUZ	LUZ ROTATIVA	32	12,95 €	414,40 €
VALVULAS	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
EVFP	FRENO PRINCIPAL	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	30	35,89 €	1.076,70 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	30	35,89 €	1.076,70 €
EVFP	FRENO PRINCIPAL	PISTON SIMPLE EFECTO	30	58,02 €	1.740,60 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	PISTON SIMPLE EFECTO	30	58,02 €	1.740,60 €
EVP	PASO PIEZA A MÁQUINA	ELECTROIMAN	14	36,30 €	508,20 €
MOTOR	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
M	MOTOR	TRIFASICO	1	78,74 €	78,74 €
M	MOTOR	MONOFASICO	14	69,49 €	972,86 €
TOTAL DISTRIBUCION					59.891,80 €

Tabla E1. 4 Desglose de los costes del material necesario para automatizar la distribución de los engranajes sin ranura 1

DISTRIBUCION ENGRANAJE SIN RANURA 1					
SENORES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
SS	SENSOR SOPORTE	SENSOR CAPACITIVO	30	88,21 €	2.646,30 €
SP	SENSOR PIEZA	SENSOR CAPACITIVO	23	88,21 €	2.028,83 €
SPO	SENSOR PIEZA OPTICO	In-Sight serie 7000	6	2.843,45 €	17.060,70 €
LS	LECTOR QR	IVU2PRBR08	30	1.168,91 €	35.067,30 €
UP	UTIMO SOPORTE	SENSOR OPTICO (REFLEXION)	14	69,07 €	966,98 €
Pulsadores	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PE	PARO EMERGENCIA	PULSADOR CON ENCLAVAMIENTO	32	4,00 €	128,00 €
P	PULSADOR	PULSADOR	12	4,00 €	48,00 €
M	MARCHA	PULSADOR	32	4,00 €	128,00 €
LUCES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
L	LUZ	LUZ ROTATIVA	32	12,95 €	414,40 €
VALVULAS	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
EVFP	FRENO PRINCIPAL	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	30	35,89 €	1.076,70 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	30	35,89 €	1.076,70 €
EVFP	FRENO PRINCIPAL	PISTON SIMPLE EFECTO	30	58,02 €	1.740,60 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	PISTON SIMPLE EFECTO	30	58,02 €	1.740,60 €
EVP	PASO PIEZA A MÁQUINA	ELECTROIMAN	12	36,30 €	435,60 €
MOTOR	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
M	MOTOR	TRIFASICO	1	78,74 €	78,74 €
M	MOTOR	MONOFASICO	14	69,49 €	972,86 €
TOTAL DISTRIBUCION					65.610,31 €

Tabla E1. 5 Desglose de los costes del material necesario para automatizar la distribución de los engranajes sin ranura 2

DISTRIBUCION ENGRANAJE SIN RANURA 2					
SENORES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
SS	SENSOR SOPORTE	SENSOR CAPACITIVO	34	88,21 €	2.999,14 €
SP	SENSOR PIEZA	SENSOR CAPACITIVO	27	88,21 €	2.381,67 €
SPO	SENSOR SOPORTE OPTICO	In-Sight serie 7000	6	2.843,45 €	17.060,70 €
LS	LECTOR QR	IVU2PRBR08	34	1.168,91 €	39.742,94 €
UP	UTIMO SOPORTE	SENSOR OPTICO (REFLEXION)	16	69,07 €	1.105,12 €
Pulsadores	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
PE	PARO EMERGENCIA	PULSADOR CON ENCLAVAMIENTO	36	4,00 €	144,00 €
P	PULSADOR	PULSADOR	12	4,00 €	48,00 €
M	MARCHA	PULSADOR	36	4,00 €	144,00 €
LUCES	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
L	LUZ	LUZ ROTATIVA	36	12,95 €	466,20 €
VALVULAS	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
EVFP	FRENO PRINCIPAL	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	34	35,89 €	1.220,26 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	34	35,89 €	1.220,26 €
EVFP	FRENO PRINCIPAL	PISTON SIMPLE EFECTO	34	58,02 €	1.972,68 €
EVFA	FRENO AUXILIAR	PISTON SIMPLE EFECTO	34	58,02 €	1.972,68 €
EVP	PASO PIEZA A MÁQUINA	ELECTROIMAN	14	36,30 €	508,20 €
MOTOR	NOMBRE	TIPO SENSOR	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
M	MOTOR	TRIFASICO	1	78,74 €	78,74 €
M	MOTOR	MONOFASICO	16	69,49 €	1.111,84 €
TOTAL DISTRIBUCION					72.176,43 €

E2. Presupuesto completo

Tabla E2. 1 Desglose de todo el material necesario incluyendo mano de obra y coste de la realización del proyecto

COSTE MATERIAL, INSTALACION Y PROYECTO					
REF.	NOMBRE	MARCA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
E2K-X8ME1 2M	SENSOR CAPACITIVO	OMRON	314	88,21 €	27.697,94 €
In-Sight serie 7000	CAMARA OPTICA	COGNEX	28	2.843,45 €	79.616,60 €
IVU2PRBR08	LECTOR QR	BANNER	174	1.168,91 €	203.390,34 €
E3FZ-D82 2M	SENSOR OPTICO	OMRON	82	69,07 €	5.663,74 €
XB4BT845	PARO EMERGENCIA	SCHNEIDER ELECTRIC	184	4,00 €	736,00 €
Harmony XB5	PULSADOR	SCHNEIDER ELECTRIC	240	4,00 €	960,00 €
817022	LUZ EMERGENCIA	RYME AUTOMOTIVE	184	12,95 €	2.382,80 €
ITS-LX-2218	ELECTROIMAN	CONRAD	76	36,30 €	2.758,80 €
33V 110-06-NO	ELECTROVALVULA MONOESTABLE	AIRTAC	348	35,89 €	12.489,72 €
DSNU-PPS	PISTON SIMPLE EFECTO	FESTO	348	58,02 €	20.190,96 €
SE G 56-2A	MOTOR MONOFASICO	ELEKTRIM MOTROR	82	69,49 €	5.698,18 €
IE2	MOTOR TRIFASICO	SIEMENS	5	78,74 €	393,70 €
M.O.	TRASLADO E INSTALACIONES*	-	1	-	396.000,00 €
C.P.	COSTE DE PROYECTO**	-	1	-	28.000,00 €
TOTAL DISTRIBUCION					781.978,78 €

* El traslado e instalación engloba el coste de mano de obra de los 10 operarios durante 6 meses de trabajo y toda la maquinaria necesaria para el proceso.

**El coste de proyecto corresponde a la realización del mismo a cargo de un equipo de dos ingenieros.